

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

**FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA**

**E.A. P. DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA**

**“DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO Y CADMIO EN  
AGUAS DEL RÍO RÍMAC Y HABAS CULTIVADAS  
EN EL DISTRITO DE SAN MATEO DE HUÁNCHOR  
DE LA REGIÓN DE LIMA”**

**TESIS**

**Para optar el Título profesional de Químico Farmacéutico**

**AUTOR**

**Goannie Justo Basualdo Larrazabal**

**Juan Daniel Yacila Frías**

**ASESOR**

**Jesús Víctor Lizano Gutiérrez**

**Lima - Perú**

**2015**

A Dios y a la Virgen de Guadalupe  
por darme la vida y la esperanza  
para obtener mis logros.

A mis padres Yeny y Daniel  
por su apoyo incondicional  
y su enseñanza de cómo afrontar la vida.

A mis hermanos, familiares y amigos  
con quienes comparto la dicha de la vida  
y los momentos de mi querida profesión.

**GOANNIE BASUALDO**  
**JOHAN**

Agradezco ante todo a Dios por  
estar siempre conmigo y permitir  
la culminación de una etapa para  
dar inicio a una nueva.

Un agradecimiento especial a mis  
padres por su apoyo brindado durante el  
proceso y por estar conmigo en los momentos  
que he necesitado de su ayuda.

Finalmente, muchas gracias a todas las  
personas que han brindado su apoyo  
de una manera incondicional.

**JUAN DANIEL**

## ÍNDICE

Pág.

**RESUMEN**

**SUMMARY**

**INTRODUCCIÓN.....1**

**OBJETIVOS.....3**

**HIPÓTESIS.....5**

<b>I. GENERALIDADES.....6</b>	<b>6</b>
1.1 Descripción del área de estudio.....	6
1.1.1 Límites.....	6
1.1.2 Población.....	6
1.1.3 Vías de Acceso.....	6
1.1.4 Naturaleza geográfica de la ubicación.....	7
1.1.5 Situación actual en el distrito de San Mateo de Huánchor.....	9
1.2 Habas.....	12
1.2.1 Origen.....	12
1.2.2 Taxonomía y Morfología.....	12
1.2.3 Requerimientos Edafoclimáticos en el Perú.....	13
1.2.4 Particularidades del cultivo.....	14
1.2.5 Recolección.....	15
1.2.6 Valor nutricional.....	16
1.2.7 Absorción y metabolismo de metales en las habas.....	16
1.3 Problemática de los residuos mineros en el Perú.....	18
1.4 Fases de la Explotación Minera.....	20
1.4.1 Extracción o explotación propiamente dicha.....	20
1.4.2 Beneficio o concentración del mineral.....	23
1.4.3 Disposición de relaves.....	25
1.5 Características de arsénico y cadmio: Toxicocinética y Toxicodinamia.....	27
1.5.1 Arsénico.....	27
1.5.1.1 Mecanismo de acción.....	27
1.5.1.2 Toxicocinética.....	28
1.5.2 Cadmio.....	29
1.5.2.1 En el ambiente hídrico.....	31
1.5.2.2 Toxicocinética.....	32
1.5.2.3 Toxicodinamia.....	37
1.6 Aspectos Toxicológicos de Arsénico y Cadmio.....	39
1.6.1 Arsénico.....	39
1.6.1.1 Intoxicación aguda.....	40
1.6.1.2 Intoxicación crónica.....	42
1.6.2 Cadmio.....	43

1.6.2.1	Intoxicación aguda.....	44
1.6.2.2	Intoxicación crónica.....	45
1.6.2.3	Carcinogenicidad del cadmio.....	49
1.7	Marco Legal Nacional.....	50
1.7.1	Normativas relacionadas al recurso hídrico.....	51
1.7.2	Normativas relacionadas a la calidad del agua....	55
<b>II.</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL.....</b>	<b>62</b>
2.1	Obtención y Recolección de las Muestras.....	62
2.2	Muestreo en el Campo.....	64
2.3	Método Analítico Empleado.....	67
2.3.1	Método Espectrofotometría de Absorción Atómica por la técnica de Horno de Grafito.....	67
2.4	Reactivos, Materiales y Equipos .....	67
2.5	Preparación de las Muestras.....	70
2.6	Análisis para Arsénico.....	71
2.6.1	Preparación de estándares.....	71
2.6.2	Medición.....	72
2.6.3	Curva de calibración.....	73
2.7	Análisis para Cadmio.....	74
2.7.1	Preparación de estándares.....	74
2.7.2	Medición.....	75
2.7.3	Curva de calibración.....	76
<b>III.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>77</b>
<b>IV.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>85</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>90</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>91</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>92</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b>	

## RESUMEN

En el distrito de San Mateo de Huánchor de la Región de Lima, se determinó el grado de contaminación de arsénico (As) y cadmio (Cd) en muestras de aguas de río y habas anchas por tratarse de una zona minera que puede afectar la salud de la población. Para llevar a cabo este estudio se tomó 14 muestras de agua (7 muestras para arsénico y 7 muestras para cadmio) y 16 muestras de habas anchas (8 muestras para arsénico y 8 muestras para cadmio). La concentración media de arsénico en aguas del río Rímac ( $\bar{X} = 18,35$  ppb) del distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima no supera los límites máximos permisibles establecidos por los Estándares Nacionales de Calidad de Agua (ECA) y de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (50 ppb). La concentración media de cadmio en aguas de río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima no fue calculada debido a que los valores no fueron detectados por la sensibilidad del equipo (4 ppb). El promedio de concentración de arsénico en habas anchas irrigadas con aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima no fue calculado debido a que los valores no fueron detectados por la sensibilidad del equipo (5 ppb). El promedio de concentración de cadmio en habas anchas irrigadas ( $\bar{X} = 49,45$  ppb) con aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima no supera el límite máximo permisible establecido por el Codex Alimentarius (100 ppb). Finalmente, se recomienda realizar estudios de investigación en distritos cercanos a San Mateo de Huánchor dónde también existen mineras, con la finalidad de comprobar si se obtienen valores similares.

**PALABRAS CLAVE:** Arsénico, cadmio, aguas de río, habas, río Rímac, San Mateo de Huanchor, Región de Lima.

## SUMMARY

In the San Mateo of Huanchor district from Region of Lima, we determined the level of contamination of arsenic (As) and cadmium (Cd) in samples of river water and broad beans because it is a mining area it can affect population health. To make this study, we took 14 water samples (7 samples for arsenic and 7 samples for cadmium) and 16 samples of broad beans (8 samples for arsenic and 8 samples for cadmium). The average concentration of arsenic in waters of Rimac river ( $\bar{X} = 18,35$  ppb) of San Mateo of Huanchor district from Region of Lima does not exceed the maximum permissible limits by Estándares Nacionales de Calidad de Agua (ECA) and Organización Mundial de la Salud (OMS) (50 ppb). The average concentration of cadmium in waters of Rimac river of San Mateo of Huanchor district from Region of Lima was not calculated because the values were not detected by the sensitivity of the equipment (4 ppb). The average concentration of arsenic in irrigated broad beans with water of Rimac River of San Mateo of Huanchor district from Region of Lima was not calculated because the values were not detected by the sensitivity of the equipment (5 ppb). The average concentration of cadmium in irrigated broad beans ( $\bar{X} = 49,45$  ppb) with water of Rimac River of the San Mateo of Huanchor district from Region of Lima does not exceed the maximum limit permissible by the Codex Alimentarius (100 ppb). Finally, it is recommended to realize research studies in districts near to San Mateo of Huanchor where there are mining, in order to see if similar values are obtained.

KEY WORDS: Arsenic, cadmium, river water, beans, Rimac river, San Mateo of Huanchor, Region of Lima.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, la minería es una de las principales actividades económicas para nuestro país. Sin embargo, muchas empresas explotan los recursos naturales sin considerar las consecuencias que pueden generar en el medio ambiente. El medio hídrico es uno de los más afectados, siendo la principal fuente de riego de los sembríos aledaños a los ríos. Varias empresas se han preocupado por este tema medioambiental; sin embargo, todavía quedan algunas empresas dedicadas a la minería informal.

Es de conocimiento que la contaminación de las aguas por la minería representa un grave problema, debido a la eliminación de los efluentes provenientes de los procesos químicos para la obtención de minerales, estos efluentes contienen residuos no recuperables como arsénico y cadmio y en algunos casos cancerígenos que alteran la calidad de las aguas receptoras.

Una exposición prolongada de arsénico produce alteraciones de la piel (dilatación de capilares cutáneos) irritación de los órganos del aparato respiratorio, gastrointestinal, y hematopoyético; además una acumulación en los huesos, músculos, piel, faneras y en menor grado en hígado (cirrosis hepática) y riñones (nefritis crónica); también se lo ha relacionado con cáncer de la vejiga, pulmón, piel, renal, fosas nasales, hígado, y próstata <sup>(1)</sup>.

La exposición al cadmio, ambiental o laboral, ha agrupado hallazgos de alteraciones, que permiten describir los siguientes síndromes: disfunción glomerular, proteinuria, calciuria y el incremento de los niveles de urea a nivel renal; a nivel pulmonar se manifiesta irritaciones de vías respiratorias, fibrosis pulmonar



y enfisema pulmonar; a nivel de los huesos se observa el síndrome *itai-itai*, y también se producen efectos hipertensivos, inmunitarios, carcinogénesis y mutagénesis; pero sus resultados aún no están totalmente definidos <sup>(2)</sup>.

Debido a su toxicidad, larga persistencia, a sus propiedades de bioacumulación y no biodegradabilidad en la cadena alimenticia, los metales pesados constituyen un grupo importante de contaminantes acuáticos y de productos de consumo directo regados por estas aguas; ya que puede ocasionar cambios genéticos, fisiológicos, bioquímicos y de comportamiento.

Se eligieron las habas (*Vicia faba L.*) como muestra de estudio, debido a su elevada frecuencia de siembra y consumo por la población de San Mateo de Huánchor y su comercialización en zonas de la misma región de Lima. Además no se han reportado estudios de contaminación de habas por arsénico y cadmio en esta localidad.

Por todo lo expuesto, con la realización del presente trabajo de investigación se buscó determinar los residuos de arsénico y cadmio en habas (*Vicia faba L.*) cuyos límites máximos permisibles son: 100 ppb para ambos metales; y también determinar la contaminación por estos metales en aguas de la localidad de San Mateo de Huánchor de la Región de Lima, cuyos límites máximos permisibles en agua de riego para arsénico es: 50 ppb y para cadmio: 5 ppb. Ambas muestras se analizaron mediante el método de Absorción Atómica.

## OBJETIVOS

### General:

Determinar los residuos de arsénico y cadmio en aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la Región de Lima y en habas cultivadas en esta zona que son irrigadas por este río.

### Específicos:

1. Determinar los residuos de arsénico en aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la Región de Lima por el método Absorción Atómica
2. Determinar los residuos de cadmio en aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la Región de Lima por el método de Absorción Atómica
3. Determinar los residuos de arsénico en habas regadas con aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la Región de Lima por el método de Absorción Atómica
4. Determinar los residuos de cadmio en habas regadas con aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la Región de Lima por el método de Absorción Atómica
5. Evaluar si las concentraciones de arsénico y cadmio de las aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la Región de Lima, se encuentran dentro de los valores establecidos por los Estándares Nacionales de Calidad de Agua, la Organización Mundial de la Salud y el *Codex Alimentarius*.

6. Evaluar si las concentraciones de arsénico y cadmio de habas irrigadas por las aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la Región de Lima, se encuentran dentro de los valores establecidos por los Estándares Nacionales de Calidad de Agua, la Organización Mundial de la Salud y el *Codex Alimentarius*.

## **HIPÓTESIS**

Las aguas del río Rímac y las habas que son irrigadas por estas aguas en el distrito de San Mateo – Huánchor contienen altas concentraciones de arsénico y cadmio que superan los límites máximos permisibles por los Estándares Nacionales de calidad de agua, la Organización Mundial de la Salud y el *Codex Alimentarius*.

## **I.- GENERALIDADES**

### **1.1 Descripción del área de estudio**

El distrito de San Mateo de Huánchor fue creado a través del Decreto Ley 9390 con fecha 30 de septiembre de 1941, está ubicado en la provincia de Huarochirí perteneciente al departamento de Lima con una extensión promedio de 41 917 km<sup>2</sup> y un perímetro de 122 433,80 m; y a una altitud promedio de 3 149 m. El distrito está conformado por las comunidades campesinas de San Miguel de Viso, San Mateo de Huánchor, San José de Párac, San Antonio y Yuracmayo.<sup>(2)</sup>

#### **1.1.1 Límites**

Limita por el norte con el distrito de Chicla; por el sur con los distritos de San Damián, Huarochirí, San Juan de Tantarache y San Lorenzo de Quinti; por el este con el distrito de Suitucancha y por el oeste con el distrito de Matucana.<sup>(2)</sup>

#### **1.1.2 Población**

El distrito de San Mateo de Huánchor tiene aproximadamente 8 500 habitantes, con una densidad de 11,6 habitantes/ Km<sup>2</sup>.<sup>(3)</sup>

#### **1.1.3 Vías de acceso**

El acceso al distrito de San Mateo de Huánchor es a través de la carretera central partiendo desde Lima (tomando como referencia el Puente Santa Anita) pasando por los lugares de Chaclacayo, Cupiche, Cocachacra, Tornamesa, Surco, Matucana, Tambo de Viso y finalmente se llega a San Mateo lo cual comprende un recorrido de

96 km aproximadamente en un tiempo de 3 a 4 horas en transporte público. <sup>(2)</sup>

#### **1.1.4 Naturaleza geográfica de la Ubicación**

El distrito de San Mateo está ubicado en la Zona de Vida Estepa Montano Tropical; según la clasificación internacional del sistema Holdridge (el cual está basado en las características principales y valores cuantitativos climáticos de las zonas de vida, teniendo como factores climáticos fundamentales de medición la biotemperatura) la cual se distribuye geográficamente a lo largo del flanco occidental andino y a altitudes que varían entre los 2 800 hasta los 4 000 m. caracterizado por tener un clima seco con una temperatura promedio de 12 °C la cual es susceptible a variaciones de acuerdo a las diferencias de altura; las precipitaciones promedio anuales máximas son de 541,8 mm y las precipitaciones promedio anuales mínimas son de 244,5 mm, las cuales se presentan en los meses de diciembre a marzo representando el 70 % de la precipitación total anual. La humedad promedio es del 60 % y se registran ocurrencia de heladas en horas nocturnas entre los meses de mayo a octubre. Y de acuerdo al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) San Mateo de Huánchor está catalogado como zona de clima semiseco templado con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como húmeda.<sup>(3)</sup>

De acuerdo a la descripción de los grandes grupos de suelos el cual está basado en el Sistema de Clasificación elaborado por la *Food and Agriculture Organization* (FAO) de las Naciones Unidas, el distrito de San Mateo está formado por tres unidades edáficas siendo ellas las más representativas de la zona de estudio y son las siguientes: Andosolvítrico, Litosol andino y Kastanozemháplico.<sup>(3)</sup>

Los suelos pertenecientes a la categoría Andosolvítrico, son suelos que han sido formados a partir de los fenómenos de vulcanismo explosivo ocurridos durante la formación de la actual configuración del relieve terrestre. Los Litosoles andinos al igual que los Andosolesvítricos han sido formados a partir de los procesos de vulcanismo explosivo; se les encuentra a altitudes a partir de los 2 800 m. Y los suelos catalogados como Kastanozemháplico se les encuentra asociados a los Litosoles andinos y están desarrollados sobre material de origen sedimentario pudiéndose encontrar en altitudes hasta los 3 700 m. y a mayores altitudes.

El río principal en el distrito de San Mateo es el río Rímac que también toma el nombre de río San Mateo o Alto Rímac y tiene como tributarios principales al río Blanco y a la quebrada Párac por la margen izquierda. El río Blanco tiene una longitud de 36,20 km y un caudal promedio anual de 9,7 m<sup>3</sup>/s el cual cuenta con la represa de Yuracmayo que tiene una capacidad de 48 millones de m<sup>3</sup> la cual suministra un aporte promedio de 2,6 m<sup>3</sup>/s en época de estiaje. La subcuenca del río Blanco está conformada en su nacimiento por la

quebrada Cutay que recibe el aporte de las aguas de la laguna Cutay y de la quebrada Quericancha por la margen izquierda, siguiendo la trayectoria recibe el aporte de la laguna Llaeshacocha por la margen derecha, seguidamente confluye por la margen izquierda el aporte de la quebrada Aicagranga la cual recibe el aporte de la quebrada Huallacocha y de la laguna Colorado; a continuación se observa el aporte por la margen derecha de la quebrada Yanavisca así como de la quebrada Quiullacocha con su nacimiento en la laguna del mismo nombre, de la laguna Rinconada y de la laguna Pucushnioc. Finalmente por la margen izquierda se tiene a la laguna Yaromaria que también descarga sus aguas a través de una pequeña quebrada en el río Blanco.<sup>(2-4)</sup>

#### **1.1.5 Situación actual en el distrito de San Mateo de Huánchor.**

La actividad principal es la minería y en menor magnitud la agricultura. Siendo la especie *Vicia faba* “habas”, uno de los más cultivados del distrito.

Por su ubicación geográfica la población desarrolla sus actividades dependiente del río Rímac. Este río recibe los relaves de las minas y entre las principales, cercanas a la zona, se encuentran el Centro Minero Millotingo, la cual extrae Plata (Ag); Pacococha, Plomo (Pb) y Plata (Ag); Centro Minero San Mateo, Plata (Ag); Casapalca, Cobre (Cu), Plomo (Pb) y Zinc (Zn); entre otros centros mineros y bocaminas que se dedican a la extracción de metales como son las siguientes: Compañía Minera San Juan S.A, Negociación Minera el



Molino S.A, Compañía Minera Agregados Calcáreos S.A y Compañía  
de Inversiones Mineras y Agrícolas Lurín S.A.<sup>(2,4)</sup>



**Figura 1.** Ubicación geográfica del distrito de San Mateo de Huáncor, región Lima - Perú.

## 1.2 HABAS (*Vicia faba* L.)

### 1.2.1 Origen

Son originarias como cultivo del Oriente, extendiéndose pronto por toda la cuenca mediterránea, casi desde el mismo comienzo de la agricultura. Los romanos fueron los que seleccionaron el tipo de haba de grano grande y aplanado que es el que actualmente se emplea para consumo en verde, extendiéndose a través de la Ruta de la Seda hasta China, e introducido en América, tras el descubrimiento del Nuevo Mundo.<sup>(5)</sup>

### 1.2.2 Taxonomía y Morfología

- **Familia:** Fabaceae
  - **Género:** *Vicia*
  - **Nombre científico:** *Vicia faba* L.
  - **Planta:** anual. Porte recto.
  - **Sistema radicular:** muy desarrollado.
  - **Tallos:** de coloración verde, fuertes, angulosos y huecos, ramificados, de hasta 1,5 m de altura.
- Según el ahijamiento de la planta varía el número de tallos.
- **Hojas:** alternas, compuestas, paripinnadas, con folíolos anchos ovales-redondeados, de color verde y desprovista de zarcillos.



**Figura 2.** Sembrío de habas aledaño al río Rímac, distrito de San Mateo de Huánchor.



**Figura 3.** Planta completa de *Vicia faba* L. "habas".

- **Flores:** axilares, agrupadas en racimos cortos de 2 a 8 flores, poseyendo una mancha grande de color negro o violeta en las alas, que raras veces van desprovistas de mancha.

- **Fruto:** legumbre de longitud variable, pudiendo alcanzar hasta más de 35 cm. El número de granos oscila entre 2 y 9. El color de la semilla es verde amarillento, aunque las hay de otras coloraciones más oscuras.<sup>(5)</sup>

### 1.2.3 Requerimientos Edafoclimáticos en el Perú

Aunque no es de las más exigentes prefiere temperaturas uniformes templado, cálidas y los climas marítimos mejor que los continentales. En climas fríos su siembra se realiza en primavera. Sus semillas no germinan por encima de 20 °C. Temperaturas superiores a los 30 °C durante el periodo comprendido entre la floración y el cuajado de las vainas, puede provocar abortos tanto de flores como de vainas inmaduras, aumentando la fibrosidad de las mismas. Son muy sensibles a la falta de agua, especialmente desde la floración hasta el llenado de las vainas.

Es poco exigente en suelo, aunque prefiere suelos arcillosos o silíceos y arcillosos calizos ricos en humus, profundos y frescos. Le perjudican los suelos húmedos mal drenados. El pH óptimo oscila entre 7,3 y 8,2. Es relativamente tolerante a la salinidad.<sup>(5)</sup>

## 1.2.4 Particularidades del cultivo

### a) Preparación del terreno

Debido a que la planta posee una potente raíz pivotante, hay que realizar una labor profunda para acondicionar el terreno, de 25 a 40 cm de profundidad, aprovechando para la incorporación del abonado de fondo. <sup>(5)</sup>

### b) Siembra

La época de siembra está ligada al clima y se realiza desde marzo-agosto en cultivos. La siembra se realiza a chorrillo, a golpe, a mano o con sembradora.

Las semillas se disponen en líneas o surcos, con una distancia entre líneas de 50 - 60 cm y 25 - 30 cm entre plantas. La nascencia se produce a los 8 - 12 días, dependiendo de la temperatura y la recolección se realiza transcurridos aproximadamente de 90 - 120 días (según variedades).<sup>(5)</sup>

### c) Abonado

Además del aporte nitrogenado realizado por la bacteria simbiótica *Rhizobium leguminosarum*, que es variable dependiendo del suelo, clima, técnicas de cultivo y genotipo de la planta; pudiendo estimarse entre 59 - 126 kg/ Hectárea y año, es necesario un aporte de nitrógeno adicional para las primeras fases del cultivo, además de fósforo y potasio.

Junto a las labores de preparación del terreno se aporta un

abonado similar al siguiente (cantidades orientativas): estiércol (20 Tn), superfosfato de cal al 18 % (500 kg), cloruro o sulfato de potasio (200 kg), sulfato amónico al 21 % (200 kg).<sup>(5)</sup>

#### **1.2.5 Recolección**

La recolección depende del tipo de material vegetal, de su hábito de crecimiento y del destino de la producción.

En el caso de cultivares de crecimiento indeterminado destinados al consumo en fresco con recolección manual, se darán dos o tres fases para cosechar la totalidad de la producción.

Si la producción está destinada a la industria la recolección será mecanizada, pasando primero una segadora hileradora, que deje las matas en línea y posteriormente una cosechadora-desgranadora.

La conservación de las habas verdes se realiza a 0 – 1 °C y 85 – 95 % de humedad relativa.<sup>(5)</sup>

### 1.2.6 Valor nutricional

<b>Cuadro 1.</b> Valor nutricional de la haba en 100 g de productos comestibles	
Agua (%)	77,1
Proteínas (g)	9
Grasas (g)	0,70
Carbohidratos (g)	11,7
Fibra cruda (g)	0,30
Cenizas (g)	1,20
Calcio (mg)	15
Fósforo (mg)	217
Hierro (mg)	1,7
Carotenos (mg)	0,15
Vitamina B <sub>1</sub> (mg)	0,33
Vitamina B <sub>2</sub> (mg)	0,18
Vitamina C (mg)	12

Fuente: El Cultivo de la Haba <sup>(5)</sup>.

### 1.2.7 Absorción y metabolismo de metales en las habas

Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes; sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos.

La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso de su entrada en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación depende de (1) el movimiento de los metales desde la solución suelo a la raíz de la planta, (2) el paso de los metales por la membrana de las células corticales de la raíz, (3) El transporte de los metales desde las células corticales al xilema desde donde la

solución con metales se transporta de la raíz a los tallos, y (4) la posible movilización de los metales desde las hojas hacia tejidos de almacenamientos usados como alimento (semillas, tubérculos y frutos) por el floema. Después de la absorción por los vegetales los metales están disponibles para los herbívoros y humanos directamente o a través de la cadena alimentaria.<sup>(6)</sup>

Otro mecanismo de ingreso de sustancias potencialmente tóxicas a las plantas es mediante la absorción foliar. La disponibilidad a través de las hojas de algunos elementos traza provenientes de fuentes aéreas puede tener un impacto significativo en la contaminación de las plantas y también es de particular importancia en la aplicación de fertilizantes foliares. La absorción foliar es mediada por una fase de penetración cuticular y un mecanismo de carácter metabólico que considera la acumulación de los elementos contra un gradiente de concentración.<sup>(6)</sup>

El arsénico es un metal no esencial para las plantas. En altas concentraciones interviene en los procesos metabólicos de las plantas, pudiendo inhibir el crecimiento y frecuentemente llegar a la muerte de la planta. Sin embargo, los niveles de arsénico en vegetales, granos y otros cultivos alimenticios son bajos, aun cuando los cultivos se desarrollen en suelos contaminados. El arsénico en el suelo se encuentra en formas móviles en el rango de pH de 7- 9. Las concentraciones de arsénico acumuladas en la planta se dan



principalmente en la raíz, el tallo y las hojas en ese orden de mayor a menor.

La acumulación del cadmio se da principalmente en la raíz y sólo una pequeña proporción es traslocada a la parte aérea de la planta, concentrándose en orden decreciente en tallo, hoja, fruto y semilla. Al absorber las plantas estos metales, la fitotoxicidad se expresa por la reducción de su crecimiento y elongación de las raíces, en parte debido a la interferencia de cadmio con la nutrición mineral (zinc), debido a que dificulta la absorción y traslocación de elementos esenciales como calcio, cobre, manganeso y fierro. La presencia de cadmio también provoca la disminución en la formación de nódulos en las leguminosas y en su actividad para fijar nitrógeno atmosférico. Por otra parte, entre los efectos fisiológicos se han observado (1) la perturbación en las funciones de los estomas en el intercambio de gases y pérdida de agua en forma de vapor, (2) la reducción de los pigmentos fotosintéticos (clorofila A, B y carotenoides) y (3) la interrupción de la integridad de las membranas celulares.<sup>(6)</sup>

### **1.3 PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS MINEROS EN EL PERÚ**

El oro, la plata, el cobre, zinc y plomo son los principales metales y minerales que son procesados de múltiples formas en productos cotidianos y por eso son explotados masivamente por la industria minera del país, debido también a que su clima financiero es más favorable . Sin embargo, en los principales yacimientos de estos recursos naturales no existe una regulación estricta por parte de las autoridades. Por lo tanto, invertir en la

minería es altamente lucrativo, más aún por el continuo aumento de la demanda mundial de materias primas y el consiguiente aumento de los precios de éstas.

Los argumentos de las comunidades locales en contra de la industria minera a gran escala se pueden resumir de la manera siguiente:

- Las concesiones mineras se otorgan sin que se consulte a las comunidades locales y sus líderes tradicionales y por lo tanto en esencia son ilegales.
- Las minas contribuyen poco o nada al desarrollo económico local de las comunidades.
- Las empresas mineras constituyen una grave amenaza al medio ambiente, a la supervivencia de la agricultura por contaminación de fuentes de agua y a la destrucción de los ecosistemas existentes.

Por todo lo expuesto el estado peruano se encuentra en una lucha frontal contra la informalidad minera o aquella que sea irresponsable con el ambiente. Ello porque se trata de un problema muy grave que en los últimos años ha arrasado con 50 mil hectáreas de bosques sólo en Madre de Dios, causando un daño irreparable. Además, es una amenaza latente para la salud de cientos de miles de personas. Por ello, el ministro del Ambiente ha convocado a un acuerdo social frente a la minería ilegal, pues es un problema que para ser resuelto requiere del consenso y participación de la mayoría de peruanos, como bloque.<sup>(7-9)</sup>

## **1.4 FASES DE LA EXPLOTACIÓN MINERA**

Los proyectos mineros comprenden 3 distintas fases secuenciales que empiezan con la exploración del mineral metálico, en la cual se hacen inspecciones y estudios previos para conocer la extensión y el valor del yacimiento minero, en esta fase no se genera contaminación; las dos siguientes fases son la extracción o explotación propiamente dicha y la de beneficio - concentración del mineral, en estas dos si hay generación de contaminación. Y vale considerar las dos últimas fases como son la disposición de relaves y la de rehabilitación y cierre.<sup>(11)</sup>

### **1.4.1 Extracción o explotación propiamente dicha**

Todos los tipos de explotación minera comparten un aspecto común: la extracción y concentración (o beneficio) del metal de la corteza terrestre. Sin embargo los proyectos mineros difieren considerablemente en los métodos propuestos para la extracción y concentración del mineral metálico.

En casi todos los casos, los minerales metálicos se entierran debajo de una capa de suelo o roca común (excedente o desecho de roca) que debe ser removido o excavado para acceder al depósito de mineral metálico. La primera forma en la que los proyectos mineros se diferencian entre sí es, por lo tanto, en el método propuesto para sacar o excavar la sobrecapa o cubierta de material (suelo) encima del yacimiento. Describiremos de forma breve los métodos más comunes.<sup>(11)</sup>

#### **a) Minería a Tajo abierto**

Es un tipo de minería superficial en la cual el mineral metálico se extiende muy profundamente en el suelo, lo cual demanda la remoción de capas de excedente y mineral.

En muchos casos, antes de remover el excedente, se requiere la tala de árboles y desbroce o quema de vegetación que se encuentra sobre el yacimiento. El uso de maquinaria pesada, es la forma más frecuente de retirar el excedente. Debido a que la minería a tajo abierto frecuentemente comprende la remoción de áreas con vegetación, este es uno de los tipos de minería más destructivos ambientalmente, especialmente al interior de bosques tropicales.

Debido a que la minería a tajo abierto se emplea para depósitos de mineral a gran profundidad bajo la superficie del suelo, usualmente comprende la creación de un tajo abierto que excede la profundidad del acuífero. Cuando este es el caso, el agua subterránea debe ser bombeada para permitir el minado. Usualmente se forma un lago en el tajo al termino de las operaciones de minado y después que cesa el bombeo del agua subterránea.<sup>(11)</sup>

#### **b) Minería aluvial, depósito del placer o placer**

Este tipo de extracción minera es usada cuando existe acumulación de mineral valioso depositado con sedimentos en el lecho de una corriente de agua o en una zona inundable. Se usan excavadoras, dragas o bombas hidráulicas (en el proceso de

minado, minería hidráulica) para extraer el mineral. La explotación minera del placer por lo general tiene por objetivo retirar oro de los sedimentos o arena aluvial de un río o corriente de agua y en zonas inundables. Debido a que la explotación minera del placer generalmente ocurre en el lecho de una corriente de agua superficial, este es un tipo de minería que es ambientalmente destructiva, pues libera grandes cantidades de sedimento, y puede impactar las aguas superficiales a lo largo de muchas millas (o kilómetros) de distancia del lugar de la mina.<sup>(11)</sup>

### **c) Minería subterránea**

En este tipo de minería se retira una cantidad mínima de material sobrecapa o excedente para tener acceso al yacimiento de mineral. El acceso al depósito de mineral se logra mediante un túnel. Los conductos, o socavones verticales conducen a una red horizontal de túneles que tienen acceso directo al mineral. Por el método minero de excavación de galerías, secciones o bloques de roca son retirados en pilas verticales que crean una cavidad subterránea la que por lo general se llena con un agregado de cemento y roca de desecho.

Si bien la minería subterránea es un medio menos destructivo de acceder al yacimiento de mineral, por lo general es más costosa y conlleva riesgos a la seguridad mucho más grandes que la minería superficial, incluyendo la minería a tajo abierto.<sup>(11)</sup>

#### **d) Reprocesamiento en minas inactivas y relaves**

Algunos proyectos mineros comprenden el reinicio de la extracción de minerales a partir de depósitos de desechos (por lo general relaves) de las minas inactivas o abandonadas, o de depósitos antiguos. Esta actividad busca reactivar minas mediante el uso de métodos más eficientes de beneficio de metal que hacen económicamente rentable la re-extracción de metales de un depósito de desechos mineros. Los proyectos mineros que sólo comprenden volver a procesar los depósitos de desechos mineros abandonados eluden los impactos ambientales causados por la minería superficial, minería a tajo abierto y la explotación minera de placer, pero aun conllevan impactos ambientales asociados al procesamiento (beneficio) de los metales que se encuentran en los depósitos de desechos.<sup>(11)</sup>

#### **1.4.2 Beneficio o concentración del mineral**

A pesar que los yacimientos mineros contienen altas concentraciones de metales, estos generan grandes cantidades de desechos. Por ejemplo, el contenido de oro en un depósito de buen grado puede contener solamente unas pocas centésimas de porcentaje. Por lo tanto, el siguiente paso en la minería es el chancado, la trituración (o molienda) del mineral y separar las cantidades relativamente pequeñas de metal del material no metálico en un proceso que se denomina “beneficio”.

La molienda es una de las actividades más costosas del beneficio de minerales y resulta en partículas muy finas que pueden permitir una mejor extracción del metal, pero también una liberación más completa de los contaminantes cuando estos toman la forma de relaves. Los relaves son remanentes que resultan del proceso de molienda del mineral a partículas finas y luego que se extraen el/os metal(es) valioso(s).

Los procesos de beneficio incluyen técnicas de separación física/química tales como concentración por gravedad, separación magnética, separación electrostática, flotación, extracción por solventes, proceso de electro-obtención o '*electrowinning*' lixiviado, precipitación, y amalgamación (frecuentemente con mercurio). Los desechos de estos procesos incluyen desechos de roca, relaves, desechos del lixiviado (en el caso de las operaciones de oro y plata), y la disposición final de materiales de desecho del lixiviado (operaciones de lixiviación de cobre).

El proceso de lixiviado con cianuro es un tipo de proceso, empleado por lo general para la recuperación del oro, plata y cobre, que merece ser tratado por separado debido a los impactos que genera en el ambiente y en la seguridad pública. Al realizarse la lixiviación, el mineral finamente molido se deposita en una pila o depósito de grandes dimensiones (llamado pila de lixiviación) sobre una membrana impermeable, y una solución con contenido de cianuro se irriga sobre el depósito o pila de material. La solución de cianuro

disuelve los metales valiosos y la solución “preñada” con contenido de metal se colecta en la base de la pila mediante un sistema de tuberías.<sup>(11)</sup>

### **1.4.3 Disposición de relaves**

Como se ha venido describiendo, aun los yacimientos de minerales de alto grado consisten casi enteramente de materiales no metálicos, los cuales contienen metales tóxicos (tales como cadmio, arsénico y plomo). El proceso de “beneficio” genera un gran volumen de desechos llamados “relaves”, el residuo de mineral que permanece después que ha sido triturado, y que ha sido extraído del metal valioso (por ejemplo con cianuro para el caso del oro) o con ácido sulfúrico (para el caso del cobre).

Si un proyecto minero comprende la extracción de algunos millones de toneladas métricas de mineral metálico, entonces el proyecto minero generará una cantidad similar de relaves. Una de las cuestiones centrales que determinará si un proyecto minero es ambientalmente aceptable es la forma como una empresa minera realiza la disposición final de este alto volumen de material tóxico. A largo plazo, la meta de la disposición y manejo de relaves es prevenir la movilización y liberación en el ambiente de los compuestos tóxicos que se encuentran en los relaves.

Para la disposición de los relaves producidos por los yacimientos, se considera como opciones las siguientes: 1) el uso de un lugar de



almacenamiento de relaves también llamado “depósito”, “cancha”, “tranque” de relaves; 2) deshidratación y disposición de relaves secos o como material de relleno; y 3) disposición submarina de relaves. <sup>(11)</sup>

La primera opción (“laguna”, “cancha” o “tranque de relaves”) es, por lo general, la opción más frecuente; pero la segunda opción, (disposición de “relaves” secos) es, en la mayoría de circunstancias, la opción más conveniente. La tercera opción (disposición de “relaves” en el medio submarino) se propone a veces cuando la mina se encuentra cerca de medios marinos de gran profundidad o, en raras ocasiones, también se ha optado por la disposición en lagos de agua dulce. Sin embargo estas opciones han tenido un resultado ambiental muy pobre en las pocas ocasiones que se han realizado. <sup>(11)</sup>

Antes que fuera obligatorio el cumplimiento de las normas ambientales en minería propuestas por el estado y por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), muchas empresas mineras, por conveniencia, simplemente descargaban los relaves en los sitios más cercanos, incluyendo ríos y arroyos cercanos. Por ello las peores consecuencias ambientales se han asociado con la descarga abierta de los relaves, una práctica casi universalmente rechazada en la actualidad; pero que aún falta regular la rigurosidad en su aspecto fiscalizador. <sup>(11)</sup>

## **1.5 CARACTERÍSTICAS DE ARSÉNICO Y CADMIO: TOXICOCINÉTICA Y TOXICODINAMIA.**

### **1.5.1 Arsénico**

El arsénico ocupa el lugar número 20 entre los elementos más abundantes de la corteza terrestre y está ampliamente distribuido en rocas y suelos, en las fuentes de agua natural y en pequeñas cantidades en todos los seres vivos. Es un metaloide y, por tanto, tiene las propiedades de los metales y de los elementos no-metálicos. Rara vez se encuentra como metal puro, pero es un elemento frecuente en los minerales que contienen azufre, siendo la arsenopirita la más común. Se produce comercialmente como trióxido de arsénico o como metal puro.

Puede estar presente en el agua en forma natural. Es un elemento muy tóxico para el hombre. Se encuentra en forma trivalente o pentavalente, tanto en compuestos inorgánicos como orgánicos.

Las concentraciones de arsénico en aguas naturales usualmente son menores de 10 µg/L. Sin embargo, en zonas mineras pueden encontrarse en concentraciones entre 0,2 y 1 g/L.

#### **1.5.1.1 Mecanismo de acción**

El arsénico produce intoxicación por combinación con los grupos sulfhidrilo de las enzimas, interfiriendo de esta manera con el metabolismo celular al desacoplar la fosforilación oxidativa. Como pertenece al mismo grupo que el fósforo, lo sustituye en el proceso de formación de Trifosfato de Adenosina

(ATP), debido a que el compuesto resultante es inestable se regenera logrando un efecto desacoplante muy efectivo. <sup>(1)</sup>

También hay que recordar su causticidad, su acción neurotóxica y carcinogénica (interferencia con la síntesis de ácido desoxirribonucleico y radiactividad de los suelos que lo contienen).

#### **1.5.1.2 Toxicocinética**

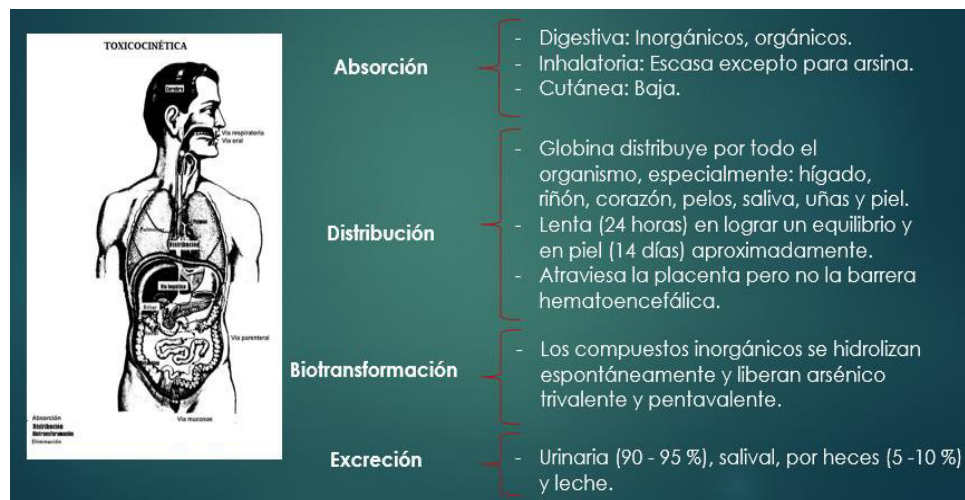
Absorción: Digestiva (inorgánicos: más fácil además son cáusticos; orgánicos: errática). Inhalatoria (es escasa para los compuestos inorgánicos excepto para la arsina). Cutánea (es pobre para todos los compuestos). <sup>(12)</sup>

Distribución: Se une a la globina y se distribuye por todo el organismo, especialmente: hígado, riñón, corazón, pelos, saliva, uñas y piel. La distribución es lenta y tarda 24 horas aproximadamente en lograr un equilibrio, en piel esto se logra recién a los 14 días. Atraviesa la placenta pero no la barrera hematoencefálica.

Biotransformación: Los compuestos inorgánicos se hidrolizan espontáneamente y liberan arsénico trivalente y pentavalente. El trivalente se oxida en el organismo a pentavalente, y éste se elimina en su mayor parte en forma de anhídrido o ácido arsénico por la orina. Una pequeña fracción

se metila y se elimina como ácido cacodílico que es muy poco tóxico.

Excreción: Urinaria (90 - 95 %), salival, por heces (5 -10 %) y leche.<sup>(12,13)</sup>



**Figura 5. Toxicocinética del Arsénico.**  
Elaboración propia, Octubre del 2014.

### 1.5.2 Cadmio

El cadmio, con número atómico 48 y peso atómico 112,40; en su forma pura, es un metal blando color blanco plateado. En el ambiente, el cadmio generalmente está presente como un mineral combinado con otros elementos. Los más comunes son los complejos con óxidos, sulfuros y carbonatos en minerales de zinc, plomo y cobre, mientras que los complejos con cloruros y sulfatos son menos comunes (ATSDR 1999a; NTP 2005).

Las liberaciones de cadmio al ambiente ocurren como resultado de actividades tanto naturales como humanas. La erosión de

minerales de cadmio contenidos en rocas es una fuente significativa de estas liberaciones en las aguas de ríos y océanos. Los incendios forestales y los volcanes realizan descargas naturales en el aire. Las actividades mineras, la combustión de combustibles fósiles y residuos domésticos, la aplicación de fertilizantes a los cultivos y otras fuentes industriales pueden también contribuir a los niveles de cadmio en el ambiente.<sup>(14)</sup>

El tipo al que pertenece el compuesto de cadmio influye en su solubilidad en el agua. En general, los cloruros y sulfatos de cadmio son más solubles en el agua que otras formas. En el suelo, la solubilidad del cadmio también varía con la forma, desde ligeramente soluble (sulfuros) hasta moderadamente soluble (sulfatos) y altamente soluble (carbonatos).

El cadmio no es un elemento esencial para la vida del hombre. Para la población en general, las exposiciones a cadmio pueden ocurrir con el consumo de cadmio en alimentos y agua potable, la inhalación de partículas con contenido de cadmio en el aire ambiental o en el humo de cigarrillos y la ingestión de cadmio en el suelo o el polvo. La contribución relativa de estas fuentes a la ingesta de cadmio por parte de la población en general varía considerablemente dependiendo de si la persona expuesta fuma o no. Los fumadores pueden absorber cantidades comparables a la ingestión diaria normal con la dieta, es decir, inhalan 0,1 a 0,2 mg de cadmio por cigarrillo, con

una absorción aproximada del 50 %. Por esto, los fumadores deben formar un grupo especial, cuando se investiga exposición a cadmio. <sup>(14)</sup>

#### **1.5.2.1 En el ambiente hídrico**

La contaminación de las aguas superficiales con este metal pesado puede provenir de la corrosión de los tubos galvanizados, de la erosión de depósitos naturales, de los efluentes de refinerías de metales o de líquidos de escurrimiento de baterías usadas o pinturas. Muchos pigmentos usados para la coloración de plásticos o la formulación de pinturas contienen concentraciones elevadas de cadmio. Este metal pesado es potencialmente tóxico y su ingestión tiene efectos acumulativos en el tejido del hígado y los riñones. <sup>(14)</sup>

La ingestión de agua y alimentos que contengan el metal representa de 5 a 10 % del total de cadmio absorbido en el organismo. Estas concentraciones dependen de la ingestión de proteínas y de la presencia de vitamina D; incluso, se relaciona con la concentración en el organismo de algunos elementos, como zinc, selenio y calcio, con los cuales compite el cadmio. El cadmio también reduce los niveles de hierro hepático.

La vida media del cadmio en el organismo es muy larga y se calcula entre 30 y 40 años, periodo en el cual permanece

almacenado en varios órganos, en particular el hígado y los riñones.

La Agencia de Protección Ambiental recomienda como margen de seguridad un límite máximo permisible de 0,005 mg/L para aguas de consumo humano. Los valores guías dados por la Organización Mundial de la Salud y la Agencia de Protección Ambiental de Canadá son 0,003 mg/L y 0,005 mg/L, respectivamente. Sin embargo, dado el poder bioacumulativo del cadmio, se recomienda que la concentración en el agua tratada sea la menor posible.

#### **1.5.2.2 Toxicocinética**

La absorción: Es relativamente lenta, con un promedio de 14 días en exposiciones prolongadas. Esto puede no ser importante cuando se calcula concentración de cadmio en órganos de trabajadores o individuos expuestos crónicamente, pero sí influye en los cálculos para períodos cortos de exposición.

En exposición no laboral, la alimentación es la fuente más importante de ingesta de cadmio. La absorción por el tracto gastrointestinal es de aproximadamente 50 %. La dieta deficiente en calcio, hierro o proteína incrementa la velocidad de su absorción.<sup>(14)</sup>

El contenido corporal de cadmio se incrementa con la edad hasta los 50 años. En los adultos, la carga corporal de cadmio puede llegar a 40 miligramos, dependiendo de la situación geográfica y sobretodo del hábito de fumar, pues en un fumador la carga alcanza el doble.

En exposiciones laborales, la inhalación es la ruta principal de ingreso y la absorción a partir de esta vía depende del tipo de compuesto inhalado, del tamaño de las partículas y de su retención en el pulmón. En grandes fumadores se ha encontrado valores adicionales de absorción por inhalación de hasta el 50 %. Las partículas de cadmio depositadas en la nasofaringe, tráquea y bronquios son transportadas por mecanismo mucociliar a la faringe, desde donde son parcialmente ingeridas.<sup>(14)</sup>

La absorción percutánea ocurre solamente por contacto con los compuestos orgánicos del cadmio.

Distribución y Metabolismo: En sangre encontramos aproximadamente 0,06 % del contenido corporal de cadmio más del 50 % está en los hematíes unido inestablemente a una pseudoproteína, la metalotioneína. La metalotioneína es el “medio de transporte” del cadmio en el plasma sanguíneo. El aclaramiento sanguíneo del cadmio es rápido, se acumula principalmente en el riñón y en adultos no expuestos llega a



valores entre 7,4 y 8,8 mg/Kg de peso, lo que representa entre 30 % y 50 % de su contenido corporal. La concentración en la corteza renal es 1,5 veces mayor que la del riñón total y se fija en las células del túbulo proximal. El hígado de adultos no expuestos tiene en promedio 2,7 mg de cadmio. <sup>(14)</sup>

La acumulación de cadmio en riñón e hígado depende de la intensidad, del tiempo de exposición y del estado óptimo de la función de excreción renal. Después de sobreexposición alcanza concentraciones elevadas en el hígado; pero con el tiempo el metal se localiza en el riñón. En las células, el cadmio se une a la metalotioneína, proteína cuyo peso molecular es de 6 945  $\mu$  (7 000 dalton) y que contiene 26 grupos sulfhidrilo (-SH) libres por molécula, debido a la gran proporción de residuos de cisteína. La función principal de esta microproteína es la protección del sistema enzimático celular, aunque se le ha descrito otra función, cual es la de unirse específicamente al cadmio y a otros metales pesados. El complejo metalotioneína-cadmio se filtra a través de los glomérulos a la orina primaria. Al igual que en el caso de otras proteínas y aminoácidos de bajo peso molecular, las células de los túbulos proximales reabsorben el complejo metalotioneína-cadmio de la orina primaria; en estas células, las enzimas digestivas degradan las proteínas en péptidos de menor tamaño y aminoácidos. Los iones de cadmio libres que se liberan tras la

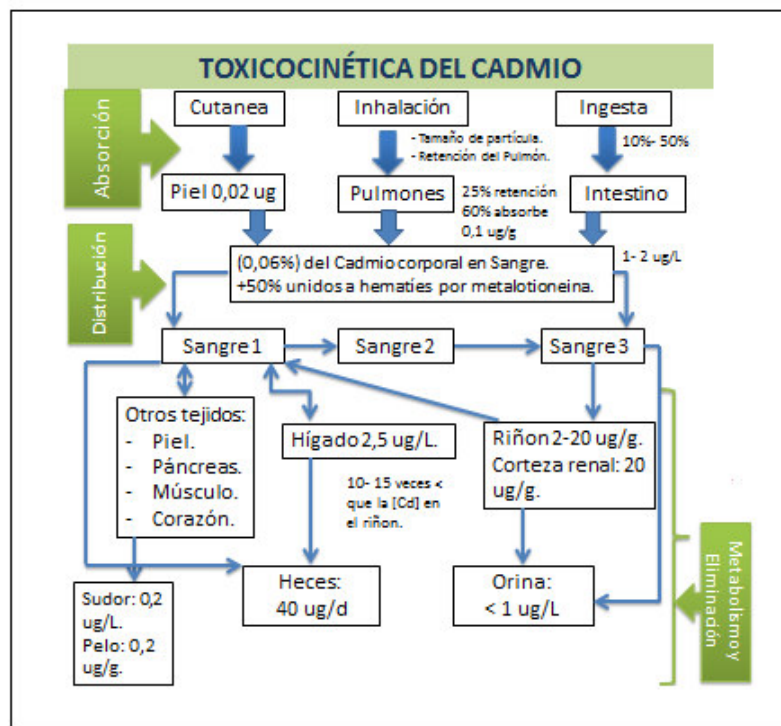
degradación de la metalotioneína inician una nueva síntesis de metalotioneína, que se une al cadmio y protege a la célula de los efectos sumamente tóxicos de los iones libres de cadmio. Se piensa que cuando se supera la capacidad de producción de metalotioneína en las células de los túbulos, se produce la insuficiencia renal. La concentración de cadmio en la corteza renal, antes de que se produzcan lesiones renales inducidas por este metal, es aproximadamente 15 veces superior a la concentración hepática. <sup>(14)</sup>

El cadmio atraviesa la barrera placentaria fácilmente, induciendo allí la síntesis de metalotioneína, con la que forma el complejo cadmio-metalotioneína, que se acumula progresivamente en la placenta durante el embarazo, actuando como mecanismo protector frente al transporte de cadmio al feto. Al término del embarazo, la concentración de cadmio en la placenta es aproximadamente 10 veces más que en la sangre materna. Por el contrario, la concentración de cadmio en el cordón umbilical es alrededor de 2 a 3 veces más baja que en la sangre materna. Por ello, se infiere que el cadmio puede interferir la evolución del embarazo por acción directa sobre el metabolismo de la placenta, pero no por acción directa sobre el feto. En el recién nacido el cadmio sanguíneo es de 30 a 50 % menor que el cadmio en la sangre materna.

Excreción: La eliminación del cadmio es muy lenta y por ello se acumula en el organismo, aumentando su concentración con la edad y el tiempo de exposición. Tomando como base la concentración en un mismo órgano a diferentes edades, se ha calculado que la semivida biológica del cadmio en el hombre oscila entre 7 y 30 años. Una parte se reabsorbe en el túbulo, contribuyendo así a su acumulación. El excedente se excreta con la orina. <sup>(14)</sup>

En condiciones “normales” de distribución, el cadmio absorbido se excreta principalmente por orina y en menor cantidad con la bilis, aunque pequeñas porciones puedan eliminarse con sudor, pelo y aún secreción gastrointestinal, pero el cadmio que sale con heces en su mayor parte es el que no se absorbió.

Por lo tanto las principales vías de excreción son orina y heces. Por orina, diariamente se elimina 0,007 % del contenido corporal y por heces 0,03 %. La vida media de excreción urinaria es de hasta 40 años. Tan sólo una pequeña fracción del cadmio del compartimento sanguíneo y otra del hígado, a través de la vía biliar, se elimina por heces. <sup>(14)</sup>



**Figura 5.** Toxicocinética del Cadmio.  
Elaboración propia, Octubre del 2014.

### 1.5.2.3 Toxicodinamia

El cadmio es un xenobiótico, por consiguiente un metal tóxico para el organismo, el cual se acumula en los tejidos humanos. Los órganos blancos son el riñón y el pulmón. En exposición laboral o ambiental, sus principales efectos tóxicos son: neumonitis química, disfunción renal con proteinuria y microproteinuria y enfisema. <sup>(14)</sup>

La sensibilidad del riñón al cadmio es mucho más alta que al pulmón e hígado; siendo en consecuencia el epitelio del túbulo renal proximal el punto blanco. Su deterioro se pone de manifiesto por el incremento de proteínas de peso molecular bajo, lo que causa “proteinuria de peso molecular bajo”.

Concomitantemente, hay alteración de la filtración glomerular, por cambios en la restricción electrostática para la filtración de las proteínas polianiónicas, lo que disminuye su reabsorción y conduce a incrementar la excreción urinaria de proteínas de peso molecular alto, lo que origina “proteinuria de peso molecular alto”. Teóricamente, pues no se ha demostrado in vivo, la acción tóxica del cadmio se debería a su afinidad por radicales de los grupos sulfhidrilo, hidroxilo, carboxilo, fosfatil, cisteinil e histidil y a su acción competitiva con otros elementos funcionalmente esenciales, zinc, cobre, hierro y calcio. Sus principales interacciones serían:

- Unión fuerte del cadmio a los grupos sulfhidril de las proteínas intracelulares, que inhibiría a las enzimas que poseen estos grupos.
- Desplazamiento del zinc de los enlaces sulfuros (-S-) y la consiguiente alteración enzimática y de sus procesos bioquímicos, que se refleja en su deficiencia relativa. <sup>(14)</sup>

Respecto a las metalotioneínas, se sabe ahora que existen dos tipos, que se comportan de forma distinta respecto a acumulación del xenobiótico y a su excreción urinaria. La fracción de cadmio en plasma se encuentra unida en forma inestable a la metalotioneína 1 y es la que se transfiere rápidamente al riñón. En el tejido renal, en cambio, el cadmio

acumulado se encuentra unido en forma relativamente estable a la metalotioneína 2 y su vida media se estima hasta en 68 años. En el hígado, la mayor cantidad de cadmio acumulado se encuentra unido también a la metalotioneína 2, con una vida media estimada hasta en 19 años. La vida media en sangre es aproximadamente de 2,5 meses. No tenemos datos sobre vida media en otros órganos o tejidos; sin embargo, puede afirmarse que 50 % del contenido total corporal de cadmio está en riñones, hígado y sangre, por lo que a estos 3 órganos se les denomina compartimiento de depósito.<sup>(13-15)</sup>

## **1.6 ASPECTOS TOXICOLÓGICOS DE ARSÉNICO Y CADMIO**

### **1.6.1 Arsénico**

La toxicidad del arsénico es compleja, pues depende de la vía de exposición, del estado de valencia y de la forma química (inorgánica u orgánica) del compuesto.

El arsénico inorgánico es el responsable de la mayoría de los casos de intoxicación en seres humanos. En cuanto a las especies oxidadas, generalmente las sales inorgánicas de arsénico (III) son más tóxicas que las de arsénico (V) y la solubilidad de los compuestos de arsénico inorgánico está relacionada con su toxicidad; todos los compuestos solubles son tóxicos.

Se sospecha que el arsénico tiene efectos cancerígenos por la correlación encontrada entre la incidencia de hiperqueratosis y cáncer

de la piel por un lado y la ingestión de aguas con más de 0,3 mg/L de arsénico por otro. Esta relación fue comprobada por Trelles en Argentina. <sup>(12)</sup>

El metabolismo del arsénico se realiza principalmente en el hígado, aunque su mecanismo no está bien establecido.

La remoción de arsénico del agua se basa principalmente en su oxidación a su forma pentavalente antes de la coagulación con sulfato férrico a pH de 6 a 8, con alumbre a pH de 6 a 7 o ablandamiento con cal a pH 11. A escala experimental, este método ha permitido una remoción de 90 % de arsénico.

Debido a sus efectos adversos sobre la salud y a la insuficiente información sobre su remoción del agua, la Agencia de Protección Ambiental y las guías canadienses recomiendan que el contenido de arsénico en fuentes de abastecimiento no exceda 0,05 mg/L.

El valor guía de la Organización Mundial de la Salud para el agua de bebida es 0,01 mg/L. <sup>(12)</sup>

#### **1.6.1.1 Intoxicación aguda**

Tras la ingestión de altas dosis el paciente comienza con cefalea, vértigos, debilidad, un cuadro de gastroenteritis muy grave, con dolor quemante en esófago, náuseas, vómitos, diarrea, acuosa o sanguinolenta muy abundante conteniendo fragmentos de mucosa (riciforme).

Posteriormente la piel se torna fría y pegajosa, desciende la presión arterial y la debilidad es marcada. La muerte ocurre por insuficiencia circulatoria. Las convulsiones y el coma son los signos terminales. Si la muerte no es inmediata, a las 24 horas hay una aparente mejoría tras la cual después de uno a tres días aparecen ictericia y oliguria o anuria por la instalación de insuficiencia hepática y renal. Si sobrevive a esta fase en la recuperación pueden aparecer las polineuropatías mixtas (especialmente en miembros inferiores), la neuritis óptica y los trastornos vestibulares.<sup>(12)</sup>

Las dosis elevadas causan inquietud, náusea, vómito, cefalea, vértigo, escalofrío, calambres, irritabilidad y parálisis variable, que pueden progresar en un período de varias semanas. Pueden ocurrir arritmias ventriculares.

Tras la inhalación puede presentarse: dolor torácico, edema pulmonar agudo, inquietud, disnea, cianosis, tos con esputos espumosos y estertores.

Arsina: causa quemadura y picazón de la cara y, tras cuatro horas, opresión torácica, náusea, disfagia, vómito, diarrea y anormalidades electrocardiográficas. Luego pueden presentarse edema pulmonar, hemólisis masiva, cianosis, hemoglobinuria, insuficiencia renal y daño hepático. Pueden



dilatarse el hígado y el bazo. En altas dosis causa rápidamente delirio, coma y muerte. <sup>(12)</sup>

#### **1.6.1.2 Intoxicación crónica:**

Generales: Anemia y pérdida de peso. Anemia aplásica. Debilidad.

En el Sistema Nervioso Central: Polineuritis mixtas que avanzan centrípetamente, neuritis óptica, anestias y parestesias tales como dolores quemantes en pies y manos. Los trastornos psíquicos son muy constantes (depresión, demencia) pero difíciles de evaluar.

En la Piel: Broceamiento, edema localizado, y dermatitis.

En el Sistema Digestivo: Cirrosis hepática, náuseas, vómitos, calambres abdominales, salivación y anorexia.

En el Sistema Cardiovascular y Riñones: Nefritis crónica, insuficiencia cardíaca, edema de zonas declive.

El Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico: Sus síntomas aparecen generalmente en la pubertad y en la edad adulta.

Tiene tres períodos:

1. Lesiones cutáneas
2. Lesiones extra cutáneas no neoplásicas
3. Carcinomas viscerales

Lesiones cutáneas:

Está dividido a su vez en cuatro períodos

- Hiperhidrótico
- Hiperqueratósico (palmas y plantas)
- Melanodérmico (en gotas de lluvia o leucodermia lenticular, presente en cuello axilas, brazos, antebrazos, tronco, abdomen, se esfuma en los muslos y respeta la cara y las mucosas)
- Cáncer cutáneo (basocelular)

Lesiones extra cutáneas no neoplásicas: Son los mismos trastornos que en la intoxicación crónica a los que se agregan: trastornos auditivos, neuritis retrobulbar, traqueobronquitis, fibrosis difusa, enfisema rinofaringitis, alteraciones hematológicas y teratogénesis.

Carcinomas viscerales: Piel, pulmón, angiosarcomas hepáticos.<sup>(12,16,17)</sup>

### **1.6.2 Cadmio (Cd)**

Tanto para la población en general como para la población ocupacionalmente expuesta, el riñón es el principal órgano en sufrir los efectos tóxicos del cadmio. Sin embargo debido al tiempo y nivel expuesto a este metal, las manifestaciones clínicas de las intoxicaciones pueden ser agudas o crónicas, siendo las agudas

causadas por accidentes o por contaminación masiva, las que probablemente ocurren en población ocupacional; mientras las crónicas se deben a la ingesta del metal a través de los alimentos y por periodos prolongados. <sup>(15)</sup>

#### **1.6.2.1 Intoxicación aguda**

**a) Por inhalación.-** La inhalación de compuestos de cadmio en concentraciones en el aire superiores a 5 mg Cd/m<sup>3</sup> durante 8 horas o en concentraciones superiores durante períodos más cortos puede producir una neumonitis química y, en los casos graves, edema pulmonar. Generalmente, los síntomas aparecen entre 1 y 8 horas después de la exposición y son similares a los de la gripe o la fiebre por humos de metales. Los síntomas más graves de la neumonitis química y del edema pulmonar pueden tener un período de latencia de hasta 24 horas. El fallecimiento puede sobrevenir después de 4 ó 7 días. Pueden producirse exposiciones a concentraciones de cadmio en la atmósfera superiores a 5 mg Cd/m<sup>3</sup> durante las operaciones de soldadura, corte al plasma o fundición de aleaciones de cadmio. <sup>(15)</sup>

**b) Por ingesta.-** La ingesta de bebidas o alimentos contaminadas con cadmio en concentraciones superiores a 15 ppm produce síntomas de intoxicación alimentaria. Los síntomas son: náuseas, vómitos, dolor abdominal y, en ocasiones, diarrea. Las fuentes de contaminación de los

alimentos pueden ser las cacerolas y sartenes recubiertos con esmalte a base de cadmio o soldaduras realizadas con cadmio que se utilizan en las máquinas expendedoras de bebidas calientes y frías.

#### **1.6.2.2 Intoxicación crónica**

Se han producido casos de intoxicación crónica por cadmio tras exposiciones profesionales prolongadas a humos o polvo de óxido de cadmio y a estearatos de cadmio. Los cambios asociados con la intoxicación crónica por cadmio pueden ser locales, en cuyo caso se afectan las vías respiratorias, o sistémicos, debidos a la absorción de cadmio. Tanto la inhalación como la ingestión del cadmio han sido causa de variados daños al organismo, entre los cuales tenemos los siguientes:

##### **a) Riñones:**

- En exposiciones ocupacionales se ha encontrado que primero aparece disfunción glomerular y luego de un período de latencia, entre 10 y 20 años, recién se manifiesta la clásica microproteinuria.
- Se produce proteinuria de peso molecular bajo, constituida principalmente por proteínas de tipo tubular, pero con predominio de proteínas específicas, como la beta-2-macroglobulina.

- Aumenta la eliminación de la enzima lisosoma- $\beta$ -galactosidasa, lo que sugiere un daño a nivel de algunas células epiteliales de vías urinarias.
- Calciuria: En exposición ocupacional o ambiental prolongada hay daño en la reabsorción tubular, lo que trae alteración del metabolismo del calcio con calciuria y aún formación de cálculos. <sup>(15)</sup>
- Incremento de los niveles de urea, creatinina y ácido úrico en suero, por falla en el aclaramiento renal; además ocurre glucosuria, aminoaciduria y fosfaturia.
- Proteinuria de peso molecular alto de tipo glomerular, albúmina principalmente, pero también de transferrina e inmunoglobulina G. <sup>(15)</sup>

#### **b) Pulmones:**

- A nivel de los pulmones el enfisema pulmonar se considera un posible efecto de la exposición prolongada al cadmio existente en el aire cuando se encuentra en concentraciones superiores a 0,1 mg Cd/m<sup>3</sup>. Se ha descrito que la exposición a concentraciones de aproximadamente 0,2 mg Cd/m<sup>3</sup> durante más de 20 años puede producir ciertos efectos pulmonares. El enfisema pulmonar inducido por cadmio puede reducir la capacidad laboral y ser causa de invalidez y de acortamiento de la vida.

### c) Huesos:

- Uno de los primeros cuadros clínicos descritos por exposición al cadmio se le denominó “*itaí-itaí*”, cuya traducción al inglés sería “*ouchouch*” y, en español es “*ay-ay*”, onomatopeya de las quejas debidas a los fuertes dolores que producía la osteomalacia entre los pobladores expuestos en la zona de Toyama (Japón), zona agrícola con alto índice de contaminación por cadmio y zinc en el agua de los cultivos de arroz. Posteriormente se ha demostrado que la enfermedad ambiental ocurre principalmente en sujetos con metabolismo de hueso osteoporótico, como mujeres multíparas o, en ambos sexos, en personas sedentarias mayores de 50 años y también en algunos casos de trastornos del metabolismo del calcio o ingesta baja de proteínas y de vitamina D. En exámenes radiográficos de pacientes con “*itaí-itaí*” y en expuestos ocupacionales a cadmio se ha demostrado pseudo-fracturas. Los primeros daños óseos descritos en expuestos que ingerían arroz contaminado era descalcificación y todavía sigue como el primer indicio de exposición que puede terminar en osteomalacia, deformaciones óseas manifiestas, fracturas espontáneas, lumbalgia, parestesias y neuralgias en miembros inferiores.<sup>(15)</sup>

**d) Sistema cardiovascular:**

- Se ha descrito hipertensión arterial, además de daño en la pared de las arterias, como las principales manifestaciones de la exposición ocupacional a cadmio. Estudios en trabajadores expuestos prolongadamente al cadmio demuestran relación entre el tiempo de exposición y el desarrollo de la hipertensión arterial; sin embargo, estudios epidemiológicos en expuestos ambientales no han sido concluyentes para establecer causalidad entre exposición y efectos cardiovasculares.<sup>(15)</sup>

**e) Sangre:**

- En los trabajadores expuestos a niveles elevados de cadmio se encuentra frecuentemente una ligera anemia hipocrómica. Aparentemente el cadmio no tiene efecto directo en la hematopoyesis. Más bien parece tener efecto de interferencia en la absorción del hierro de los alimentos. Estos efectos se manifiestan principalmente por una disminución de los niveles de hemoglobina; son de carácter reversible.

**f) Otras manifestaciones:**

- Anosmia, pérdida de peso, decaimiento general.
- Coloración amarilla de los dientes e incremento de frecuencia de caries dental.

- Síntomas gastrointestinales variados como náuseas y vómitos como respuesta inmediata.
- Leucocitosis y linfocitosis.
- Daño hepático moderado y, por tanto, disminución de la capacidad metabólica del hígado en general y en particular para los xenobióticos. <sup>(15)</sup>

#### **1.6.2.3 Carcinogenicidad del cadmio**

Varios estudios epidemiológicos demuestran una relación dosis-respuesta y un aumento en la mortalidad por cáncer pulmonar en los trabajadores expuestos al cadmio. La interpretación se complica por la exposición simultánea a otros metales que son o se sospecha que pueden ser cancerígenos. Sin embargo, la observación continuada de trabajadores expuestos al cadmio no ha permitido demostrar un aumento de la mortalidad por cáncer de próstata, como se sospechaba inicialmente. <sup>(15)</sup>

La evaluación de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US - EPA) sobre la carcinogenicidad del cadmio tiene el respaldo de estudios de laboratorio sobre la exposición crónica de ratas al cadmio por inhalación de polvos y humos. Se observó un incremento en los nódulos y tumores en el pulmón al incrementarse la dosis en ratas expuestas durante 18 meses en dos estudios independientes. Sin embargo, no se observó una incidencia de tumores en estudios



controlados realizados con ratones. Más recientemente, se ha demostrado que la exposición al cadmio en ratas causa tumores en la glándula pituitaria (DHHS 2005).<sup>(15)</sup>

Por la controversia generada en los estudios si el cadmio es cancerígeno; el Programa Nacional de Toxicología de los Estados Unidos (DHHS 2005) también ha concluido que el cadmio y los compuestos del cadmio son cancerígenos en su reciente Informe sobre Cancerígenos, citando estudios epidemiológicos de seguimiento que demuestran una relación positiva entre la exposición al cadmio y el cáncer al pulmón. Además, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene Industrial de los Estados Unidos (NIOSH) ha clasificado al cadmio como un cancerígeno para los seres humanos en la ruta de exposición mediante inhalación debido al incremento en el riesgo de cáncer a los pulmones y a la próstata (NIOSH 2000).<sup>(14,15,18,19)</sup>

## **1.7 MARCO LEGAL NACIONAL**

Durante años se han realizado una serie de foros y encuentros internacionales en los cuales se ha destacado la importancia del agua en la vida económica de los países, en los cuales el Perú tuvo una participación activa; en donde a través de diferentes iniciativas de la comunidad internacional se establecieron una serie de principios y mecanismos para un manejo sostenible del recurso hídrico, lo cual ha permitido llegar al estado actual de la gestión del agua en el Perú y son los siguientes:

### **1.7.1 Normativas relacionadas al recurso hídrico**

**Decreto Legislativo Nº 1083 del Ministerio del Ambiente. Decreto legislativo que promueve el aprovechamiento eficiente y la conservación de los recursos hídricos. Publicado el 28 de junio de 2008.**

El presente decreto legislativo tiene por objeto establecer el marco normativo para promover el aprovechamiento eficiente y la conservación de los recursos hídricos incentivando el desarrollo de una cultura de uso eficiente entre todos los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica, pública o privada. La Autoridad Nacional del Agua - ANA establece los parámetros de eficiencia para el aprovechamiento de los recursos hídricos, los cuales son requerimientos mínimos y máximos aplicables a cada forma y tipo de uso del recurso. Asimismo la ANA otorga Certificados De Eficiencia en la cual certifica el aprovechamiento eficiente, así como Certificados De Creatividad, Innovación e Implementación para la Eficiencia del Uso del Agua. Los incentivos institucionales que promueve la ANA son: concursos de mejores prácticas, pasantías, premios, difusión de experiencias exitosas y promoción del uso de equipos y tecnologías innovadoras. Para los usuarios y operadores que no cumplan con los parámetros de eficiencia deberán presentar un Plan de Adecuación para el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos hasta cumplir en un periodo no mayor de 5 años con los parámetros exigidos. La ANA promueve la reversión de los excedentes de los recursos hídricos así como la reutilización de los mismos.<sup>(2)</sup>

**Resolución Jefatural N° 0015-2009-ANA del Ministerio del Ambiente. Encargan a diversos profesionales las funciones de administradores locales del agua. Publicado el 29 de enero de 2009.**

En esta resolución se han designado a los profesionales encargados de la administración local del agua, quienes son los mismos profesionales que fueron designados como Administradores Técnicos de Distritos de Riego, para garantizar el adecuado funcionamiento de la Autoridad Nacional del Agua.<sup>(2,20)</sup>

**Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos. Publicado el 31 de marzo de 2009.**

La presente ley tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, la cual se basa en los principios de: valoración del agua, prioridad en el acceso del agua, participación de la población y cultura del agua, seguridad jurídica, respeto de los usos del aguas por las comunidades campesinas y nativas, sostenibilidad, descentralización, precaución, eficiencia, gestión integrada y tutela jurídica; para lo cual se ha creado el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, siendo la ANA el ente rector y la máxima autoridad técnico normativa la cual está conformada por: Consejo Directivo, Jefatura, Tribunal de Resolución de Controversias Hídricas, Órganos de Apoyo, Órganos Desconcentrados denominados Autoridades Administrativas del Agua y Administradores Locales del Agua.

La retribución económica del agua se ha fijado para su uso así como para su vertimiento; las tarifas han sido fijadas por la utilización de infraestructura hidráulica mayor y menor, por el servicio de monitoreo y por la gestión de las aguas subterráneas. Cabe mencionar que la presente ley derogó el Decreto Ley N° 17752. Ley General de Aguas y el Decreto Supremo 261-69-AP Reglamento de la Ley General de Aguas.<sup>(2,20,21,23)</sup>

**Resolución Jefatural N° 0201-2009-ANA del Ministerio del Ambiente. Establecen disposiciones para la implementación de la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338, en cuanto se refiere al establecimiento del valor y cobranza de las retribuciones económicas por el uso del agua para el 2009. Publicado el 16 de abril de 2009.**

En la presente resolución se establecen disposiciones para la implementación de la retribución económica por el uso del agua superficial para el 2009, las cuales dependerán de los fines del uso del agua (industriales, mineros, poblacionales o agrícolas) y de la clasificación de la administración local del agua en función a sus tasas de disponibilidad del recurso hídrico; las cuales están fijadas en nuevos soles por metro cúbico de agua. Además se señala que la retribución económica que abonaran las organizaciones comunales encargadas de la prestación de servicios de saneamiento será de S/ 50.00 nuevos soles y que para el cobro del agua con fines mineros, la Administración Local del Agua, emitirá recibos por dicho uso; debiéndose realizar un pago previo al uso del agua (por el respectivo volumen solicitado) y un pago posterior al uso del agua. El incumplimiento de dichos pagos estará sujeto a un interés moratorio simple mensual del 1% del monto

total de la retribución o en su defecto cortes de agua y/o procedimientos de cobranza coactiva.<sup>(2,20,21)</sup>

**Resolución Jefatural Nº 0250 –2009-ANA del Ministerio del Ambiente. Dan conformidad a la Versión Definitiva de la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos elaborada por la Comisión Técnica Multisectorial creada por R.M. Nº 051-2007-PCM. Publicado el 13 de mayo de 2009.** <sup>(20)</sup>

La Política y Estrategia Nacional de los Recursos Hídricos está basada en 12 ejes temáticos cada uno de los cuales tiene sus objetivos específicos, acciones estratégicas y sus fases de implementación; y son los siguientes:

1. Marco Jurídico e Institucional.
2. Derechos de Uso de Agua.
3. Calidad del Agua.
4. Recursos Humanos, Desarrollo de Capacidades y Cultura del Agua.
5. Información de Recursos Hídricos.
6. Infraestructura Hidráulica: multisectorial y sectorial.
7. Planeamiento de Recursos Hídricos.
8. Inversión y Financiamiento.
9. Actividades Sectoriales: vivienda, agricultura, industria, minería y energía.
10. Conservación de Ecosistemas.

11. Cuencas Transfronterizas.

12. Prevención de Riesgos, Mitigación de Impactos y Adaptación al Cambio Climático.

Las fases de implementación de las acciones estratégicas de cada uno de los ejes temáticos han sido establecidas en los siguientes plazos: La primera fase que corresponde al período del 2009 al 2010, la segunda fase desde el 2011 hasta el 2015 y la tercera fase desde el 2016 hasta el 2020. <sup>(2,20,21)</sup>

#### **1.7.2 Normativas relacionadas a la calidad del agua**

**Resolución Ministerial Nº 011-96-EM/VMM del Ministerio de Energía y Minas. Aprueban los Niveles Máximos Permisibles de Emisión de efluentes líquidos para las actividades minerometalúrgicas. Publicado el 13 de enero de 1996.**

En esta resolución se establecen los niveles máximos permisibles para las unidades minero-metalúrgicas los cuales se encuentran en el Anexo I de dicha resolución y para las unidades mineras en operación o que reinicien operaciones se encuentran en el Anexo II, teniendo como parámetros de control el pH, sólidos suspendidos, plomo, cobre, zinc, fierro, arsénico y cianuro total con diferentes concentraciones para cada anexo.<sup>(2)</sup>

**Resolución Directoral N° 281-2007-MEM/AAM del Ministerio de Energía y Minas. Guía para la evaluación de Impactos en la calidad de las aguas superficiales por actividades Minero metalúrgicas. Publicado el 07 de septiembre de 2007.**

Esta guía ha sido diseñada para los responsables de las empresas mineras, consultores, funcionarios del Estado y para todas las personas e instituciones interesadas en la identificación, evaluación, prevención y mitigación del impacto de las actividades mineras sobre el recurso hídrico, la cual ha sido preparada por el equipo del Proyecto de Reforma del Sector Público Minero (PERCAN), bajo los auspicios de la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (ACDI) para el Ministerio de Energía y Minas (MEM).

La guía desarrolla los principales aspectos relacionados con la preparación de la línea de base hidrológica y de calidad de agua, el modelamiento hidrológico y de calidad de agua, la evaluación de impactos en las aguas superficiales, con particular énfasis en el modelamiento numérico de los aspectos hidrológicos y de calidad de aguas.<sup>(2,20,21)</sup>

**Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM del Ministerio del Ambiente. Aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Publicado el 31 de julio de 2008.**

El presente decreto supremo aprobó los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en cuyos niveles de

concentración no deberán representar riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Las categorías establecidas son las siguientes: Categoría 1: Poblacional y Recreacional, la cual se subdivide en 02 clases: aguas que pueden ser destinadas a la producción de agua potable y aguas destinadas a la recreación; Categoría 2: Actividades Marino Costeras, la cual se subdivide en 03 clases: aguas para la extracción y cultivo de moluscos bivalvos, aguas para la extracción y cultivos de otras especies hidrobiológicas y para otras actividades; Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales, se subdivide en 03 clases: riego de vegetales de tallo alto, riego de vegetales de tallo bajo y bebida de animales y la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, el cual está subdividido en 03 clases: lagunas y lagos, ríos y ecosistemas marino costeros; existiendo para cada categoría sus propios parámetros y concentraciones permitidas.<sup>(22,23,24)</sup>

**Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM del Ministerio del Ambiente. Aprueban Disposiciones para la Implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Publicado el 19 de diciembre de 2009.**

En el presente decreto supremo se aprueban las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua, en el cual se realizan precisiones respecto a las Categorías y Subcategorías de los ECAS en función a los usos del agua.

En esta normativa se especifican criterios y consideraciones a tener para la asignación de categorías de los cuerpos de agua, la implementación de los



ECAS en zonas intangibles, la delimitación de la zona de mezcla y los criterios y exigencias a tener para el vertimiento de efluentes en los cuerpos receptores, asimismo se indican los casos en que la aplicación de los ECAS requiere una excepción para lo cual se debe presentar estudios geoquímicos u otros estudios técnicos que demuestren que la presencia de elementos en el agua en concentraciones superiores a los ECAS se debe a condiciones naturales y no a actividades antropogénicas; finalmente se establecen las técnicas de análisis que deben ser utilizadas para el análisis de los parámetros organolépticos, físicoquímicos, inorgánicos, orgánicos y microbiológicos establecidos en cada categoría de uso del agua.<sup>(25,26)</sup>

**Cuadro 2. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua  
Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebidas de Animales**

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
<b>Fisicoquímicos</b>		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100- 700
Conductividas	( $\mu$ S/cm)	< 2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos- P	mg/L	1
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	10
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥ 4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
<b>Inorgánicos</b>		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5- 6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2

Fuente: Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, Ministerio del ambiente 2008 <sup>(24)</sup>.

**Cuadro 2. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua**  
**Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebidas de Animales**

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
<b>Orgánicos</b>		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
<b>Plaguicidas</b>		
Aldicarb	µg/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2)	µg/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	µg/L	0,3
DDT	µg/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	µg/L	0,7
Endrin	µg/L	0,004
Endosulfán	µg/L	0,02
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloripoxido	µg/L	0,1
Lindano	µg/L	4
Paratión	µg/L	7,5

Fuente: Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, Ministerio del ambiente 2008 <sup>(24)</sup>.

**Cuadro 3. Legislación del Codex Alimentarius para Metales Pesados.**  
**Arsénico**

ALIMENTO	Tolerancia en PPM
Grasas y aceites comestibles	0,1
Grasas para untar y mezclas de grasas para untar	0,1
Margarina	0,1
Minarina	0,1
Grasas animales siguientes: Manteca de cerdo, grasa de cerdo fundida, primer jugo (premier jus) y sebo comestible.	0,1
Aceite de oliva, refinado	0,1
Aceite de oliva, virgen	0,1
Aceite de orujo de oliva	0,1
Aceites vegetales, crudos de cacahuete, babasú, coco, semillas de algodón, semillas de uva, semillas de mostaza, palmiche, palma, nabina, cártamo, sésamo, soja y girasol, oleína de palma, estearina y superoleína.	0,1
Aceites vegetales, comestibles de cacahuete, babasú, coco, semillas de algodón, semillas de uva, semillas de mostaza, palmiche, palma, nabina, cártamo, sésamo, soja y girasol, oleína de palma, estearina y superoleína.	0,1
Aguas minerales naturales	0,01
Sal, calidad alimentaria	0,5

Fuente: Metales pesados, Madrid. Secretaria de Estado de Turismo y Comercio, marzo 2014<sup>(26)</sup>.

**Cuadro 4. Legislación del Codex Alimentarius para Metales Pesados.  
Cadmio**

<b>PRODUCTO</b>	<b>Contenido máximo (mg /Kg)</b>
Brasicáceas	<b>0,05</b>
Hortalizas de bulbo	<b>0,05</b>
Hortalizas de fruto, cucurbitáceas	<b>0,05</b>
Hortalizas de fruto, distintas de las cucurbitáceas, excepto los tomates y los hongos comestibles	<b>0,05</b>
Hortalizas de hoja	<b>0,2</b>
Hortalizas de leguminosas	<b>0,1</b>
Patatas (papas), peladas	<b>0,1</b>
Legumbres, excepto los granos de soja (secos)	<b>0,1</b>
Raíces y tubérculos, excepto el apio y las patatas (papas)	<b>0,1</b>
Hortalizas de tallo y raíz	<b>0,1</b>
Cereales en grano, con excepción del trigo, el trigo sarraceno, el arroz, la cañihua y la quinoa. Con excepción del salvado y el germe.	<b>0,1</b>
Arroz pulido	<b>0,4</b>
Trigo	<b>0,2</b>
Moluscos marinos bivalvos excluidas las ostras y vieiras sin vísceras	<b>2</b>
Cefalópodos	<b>2</b>
Aguas minerales naturales (expresado en mg/l)	<b>0,003</b>

**Fuente: Metales pesados, Madrid. Secretaria de Estado de Turismo y Comercio, marzo 2014<sup>(26)</sup>.**

## II. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1 OBTENCIÓN Y RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS

Para la obtención de la muestra se usó el tipo de muestreo aleatorio simple.<sup>(27)</sup> Para el efecto se utilizó el diseño del programa de muestreo de campo teniendo en cuenta todos los factores a fin de asegurar que las muestras fueran representativas, recolectando un total de 30 muestras (agua y habas) procedentes del distrito de San Mateo de Huánchor en el mes de Julio del 2014, tiempo en que las habas estaban listas para cosechar; cuyo proseguir se describe de la siguiente manera:

- a) Para el caso de las muestras de agua se escogieron 3 puntos; los cuales fueron lo más lejos de las orillas para evitar contaminación de ellas. En este caso, los puntos fueron medio-parte superior, medio-parte central y medio-parte profundo. Para el punto medio-parte superior se recolectó 3 muestras para arsénico y 2 para cadmio, para el punto medio-parte central se recolectó 2 muestras para arsénico y 2 para cadmio, y para el punto medio-parte profundo se recolectó 2 muestras para arsénico y 3 para cadmio; obteniendo así 14 muestras de agua a examinar.<sup>(27,28,29)</sup>

**Cuadro 5. Codificación de Muestras de agua del río Rímac**

MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO RÍMAC			
Punto Metal	Agua Parte Superior (APS)	Agua Parte Medio (APM)	Agua Parte Pofunda (APP)
Arsénico	APS1	APM1	APP1
	APS2	APM2	APP2
	APS3		
Cadmio	APS4	APM3	APP3
	APS5	APM4	APP4
			APP5

Elaboración propia, Junio 2014

b) Para el caso de las muestras de habas se recolectó muestras del cultivos aledaños al río, para ello se escogieron 3 puntos. En este caso, los puntos fueron habas cercanas al río, habas medianamente cercanas al río y habas lejos del río. Para el punto de habas cercanas al río se recolectó 3 muestras para arsénico y 2 para cadmio, para el punto de habas medianamente cercanas al río se recolectó 3 muestras para arsénico y 3 para cadmio, y para el punto de habas lejos del río se recolectó 2 muestras para arsénico y 3 para cadmio; obteniendo así 16 muestras de habas a examinar.<sup>(27)</sup>

**Cuadro 6. Codificación de Muestras de habas cercanas al río Rímac**

MUESTRAS DE HABAS			
Punto Metal	Habas Cercanas al Río (HCR)	Habas Medianamente Cercanas al Río (HMCR)	Habas Lejos del Río (HLR)
Arsénico	HCR1	HMCR1	HLR1
	HCR2	HMCR2	HLR2
	HCR3	HMCR3	
Cadmio	HCR4	HMCR4	HLR3
	HCR5	HMCR5	HLR4
		HMCR6	HLR5

Elaboración propia, Junio 2014

## 2.2 MUESTREO EN EL CAMPO

Para realizar el muestreo en campo se tomó como referencia los lineamientos del protocolo de monitoreo de calidad de agua. <sup>(27)</sup>

- Las muestras de agua se recolectaron aguas abajo del río, en frascos de polietileno de 500 mL y las muestras de habas se recolectaron de sembríos cercanos al río, las habas se desvainaron y así fueron conservadas en bolsas de polietileno hasta la apertura para sus análisis.
- Ambas muestras se conservaron entre 2 y 8 °C para lo cual se usaron coolers y geles que ayuden a mantener la temperatura requerida previo al análisis, los geles se acondicionaron con 72 horas de anticipación para que logren llegar a la temperatura de congelación (- 10 °C) y mantenerse durante todo el procedimiento.
- Durante todo el procedimiento de recolección de muestras se usó un registrador de temperatura Marca Log-Tag, de esta manera se registró la temperatura en el tiempo durante intervalos de 30 minutos. Para ello los Log-Tag se programaron con anterioridad.<sup>(28)</sup> La conservación de las muestras se describen gráficamente de la siguiente manera:



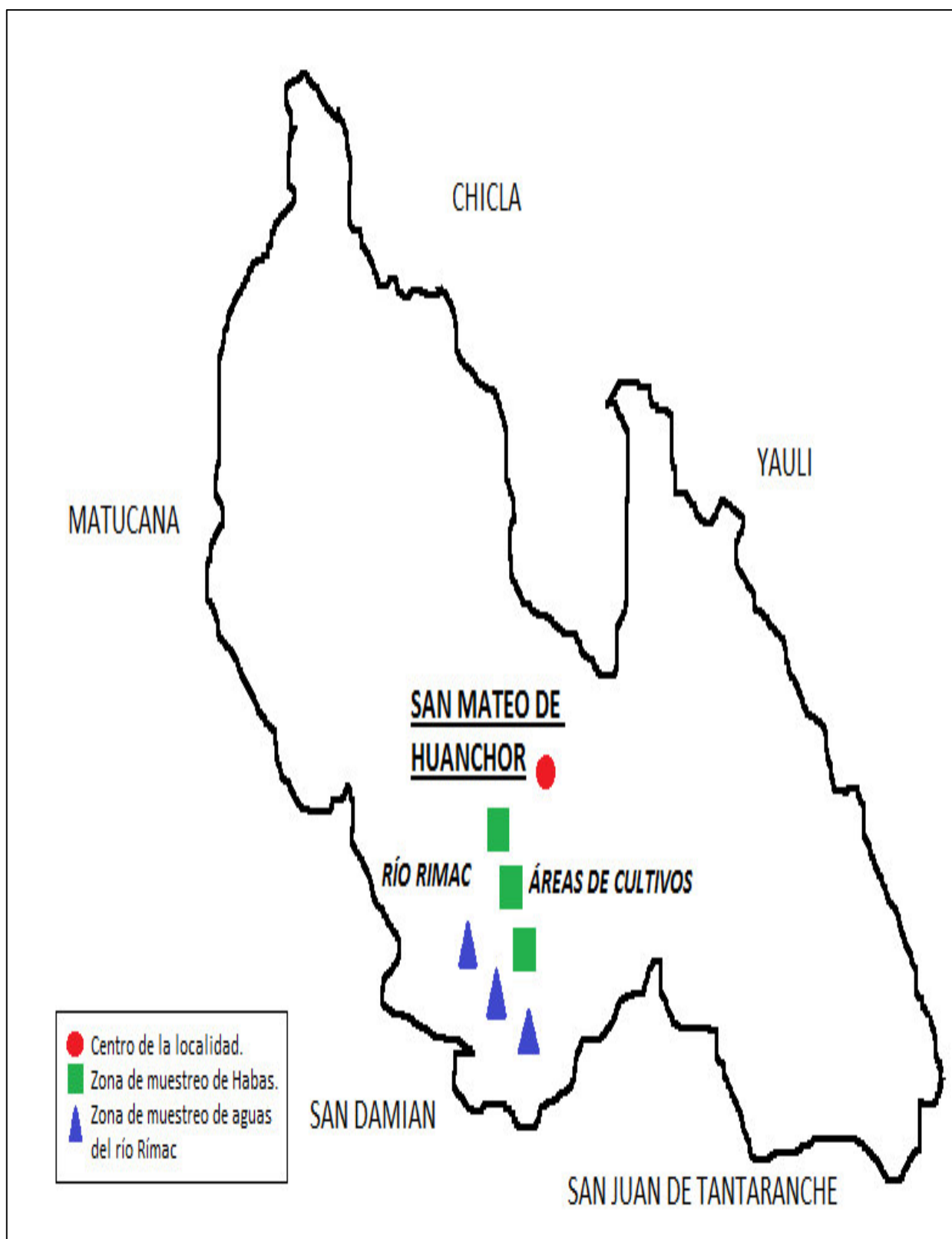


**Figura 6. Conservación de Muestras de Agua**



**Figura 7. Conservación de muestras de Habas**





**Figura 8. Mapa Referencial de las Zonas de Muestreo del distrito de San Mateo de Huánchor**

## **2.3 MÉTODO ANALÍTICO EMPLEADO**

### **2.3.1 Método Espectrofotometría de Absorción Atómica por la técnica de Horno de Grafito.**

Fundamento: La técnica se basa en la medida de la radiación absorbida por los átomos libres en su estado fundamental. Para que esto ocurra la muestra pasa por un proceso de atomización electrotérmica utilizando una resistencia eléctrica. Estos átomos libres, formados a partir de un estado energético inferior a otro superior, absorben una radiación de energía de onda específica emitida por una lámpara que contiene un cátodo. La diferencia entre energía incidente y la transmitida se recoge en un detector, permitiendo realizar la determinación cuantitativa del elemento.<sup>(11,12)</sup>

## **2.4 REACTIVOS, MATERIALES Y EQUIPOS**

### **Reactivos para análisis de Arsénico:**

- Estándar certificado de arsénico de 1 000 µg/mL.
- Ácido clorhídrico HCl, 10 % (v/v) para la preparación de estándares: medir 100 mL de ácido clorhídrico concentrado ultrapuro con contenido máximo de arsénico de 0,5 µg/L y llevar a una fiola de 1 000 mL, enrasar con agua ultrapura. Esta solución tiene duración de sólo un día.
- Ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 2,5N: adicionar 7 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado a un vaso de 250 mL que contiene 50 mL de agua destilada. Enrasar a una fiola de 100 mL.

### **Reactivos para análisis de Cadmio:**

- Estándar certificado de Cadmio de 1 000mg/L.
- Ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ , concentrado ultrapuro, con contenido de  $0,07 \times 10^{-1} \mu\text{g/L}$  de plomo, para reparación de estándares.
- Ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ , concentrado para análisis de trazas, con contenido de  $0,7 \mu\text{g/L}$  de plomo, para la digestión de las muestras.
- Diluyente, Ácido nítrico, 0,2 %: Medir 2 mL de ácido nítrico concentrado ultrapuro y llevar a una fiola de 1 litro, enrasar a la marca con agua ultrapura.
- Ácido perclórico al 70 %.

### **Materiales para análisis de Arsénico:**

- Fiolas de vidrio con tapa de 50 y 100 mL, clase A.
- Pipetas de vidrio de 1, 2, 5 y 10 mL, clase A.
- Vasos de vidrio de 250 mL.
- Cooler (2 unidades.)
- Geles refrigerantes.
- Registrador de temperatura marca Log-tag.
- Envases de polietileno de 500 mL
- Bolsas de plástico.

### **Materiales para análisis de Cadmio:**

- Fiolas de vidrio con tapa de 10 mL y 100 mL clase A.
- Pipetas de vidrio de 5 mL y 10 mL, clase A.
- Probetas de vidrio de 100 mL.

- Vasos de vidrio de 150 mL.
- Lunas de reloj.
- Cooler (2 unidades.).
- Geles refrigerantes
- Envases de polietileno de 500 mL
- Registrador de temperatura marca Log-tag.
- Bolsas de plástico.

#### **Equipos para análisis de Arsénico:**

- Espectrofotómetro de absorción atómica (marca SHIMADZU, modelo AA-6800).
- Horno de grafito (marca SHIMADZU, modelo GFA-EX7).
- Computadora (marca CIBER, modelo ENTERPRISE 8500).
- Plancha térmica (marca THERMO, modelo TYPE 2200).
- Balón de gas con argón de 99,999 % de pureza (distribuidor LINDEL GAS)
- Procesador de alimento (marca SAMSUNG).
- Balanza (marca SHIMADZU, modelo UNIBLOC).

#### **Equipos para análisis de Cadmio:**

- Equipo de absorción atómica (marca SHIMADZU, modelo AA-6800).
- Horno de grafito (marca SHIMADZU, modelo GFA-EX7).
- Inyector automático, Autosampler (marca SHIMADZU, modelo ASC-6100).
- Computadora (marca CIBER, modelo ENTERPRISE 8500).
- Plancha térmica (marca THERMO, modelo TYPE 2200).
- Balón de Argón, 99,999 % de pureza (distribuidor LINDEL GAS)

- Procesador de alimento (marca SAMSUNG).
- Balanza (marca SHIMADZU, modelo UNIBLOC).

## **2.5 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS**

### **a) Procedimiento de la preparación de muestras de Habas:**

La muestra se homogenizó mecánicamente con ayuda de un procesador de alimentos, luego se procedió a pesar 3 g. en un vaso de precipitado de 150 mL de volumen y se sometió a una digestión ácida con 10 mL de  $\text{HNO}_{3(\text{CC})}$  (1:1) y se llevó a calentamiento a 70 °C (calentamiento moderado para evitar evaporación total del ácido). Se agitó el vaso de precipitado conteniendo la muestra constantemente para eliminar totalmente los vapores nitrosos y llevar hasta sequedad, luego se agregó 2 mL de  $\text{HClO}_4$ , y se llevó a sequedad. Finalmente se dejó enfriar, se agregó agua destilada hasta disolver el contenido del vaso y se transfirió a una fiola de 50 mL y se enrazó con la solución diluyente.

### **b) Procedimiento de la preparación de muestras de aguas:**

Se midió 100 mL (volumen de muestra) de la muestra agitada, 1 mL de  $\text{HNO}_{3(\text{CC})}$  en un vaso de 250 mL limpio, lavado con ácido. Se calentó sobre la plancha, sin dejar que hierva la solución, hasta que el volumen se redujo a 10 mL aproximadamente. Se retiró de la plancha caliente y se dejó enfriar a temperatura ambiente, diluyéndose con agua en una fiola a un volumen de 100 mL. Se preparó simultáneamente un blanco digerido sustituyendo la muestra por agua ultrapura y se realizó la digestión como se ha descrito con anterioridad.

## 2.6 ANÁLISIS PARA ARSÉNICO

### 2.6.1 Preparación de estándares:

Para preparar un estándar patrón de arsénico de 100 mg/L, se midió 10mL del estándar certificado de 1 000 mg/L y se contuvo en una fiola de 100 mL, luego se enrazó con agua ultrapura. El estándar tiene una duración de 6 meses.

Para el estándar de arsénico de 10 mg/L: se midió 10mL del estándar de 100 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Este estándar tiene una duración de 3 meses.

Para el estándar de arsénico de 1 mg/L: se midió 10 mL del estándar de 10 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con un diluyente. Tiene una duración de 1 semana.

Para el estándar de arsénico de 20 µg/L: se midió 2 mL del estándar de 1 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Se tiene que preparar diariamente.

Los estándares de calibración obtenidos son de 5 µg/µL, 10 µg/L, 15 µg/L y 20 µg/L. El equipo prepara automáticamente estos estándares a partir de estándar de 20 µg/L.

Se preparó un blanco de calibración con agua ultrapura, siguiendo el procedimiento anterior.

**Cuadro 7. Programación del horno de grafito para lectura de arsénico**

Programa del horno de grafito para lectura de arsénico				
Paso	Temperatura (°C)	Tiempo Rampa (seg)	Flujo del gas (L/min)	Gas
1	150	20	1,0	Argón
2	250	10	1,0	Argón
3	600	10	1,0	Argón
4	600	3	0	Argón
5	2 200	2	0	Argón

**Cuadro 8. Condiciones del espectrofotómetro para lectura de arsénico**

Condiciones del espectrofotómetro para lectura de arsénico	
Longitud de onda (nm)	193,7 nm
Slit (nm)	1,0 nm
Lámpara	BGC- D2
Corriente de lámpara (mA)	12 mA
Tubo de grafito	Tubo de grafito con plataforma
Tipo de corrección	Corrección de fondo (Background)
Medida de señal	Área de Pico (A-As)
Volumen de muestra	20 µL

**2.6.2 Medición:**

Se encendió el equipo de absorción atómica *SHIMADZU AA-6800*, así como también el horno de grafito 6FA-EX7 con inyector automático (*autosampler*) y la computadora, se colocó la lámpara de cátodo hueco de arsénico. Siguiendo el procedimiento de operación del horno de grafito GFA-600, se verificó la calibración del instrumento, asegurando el alineamiento del *autosampler* antes de iniciar la corrida analítica. Usando el control manual del brazo muestreador, se hizo

balancear el brazo sobre el tubo de grafito, sin tocar el borde del hueco.

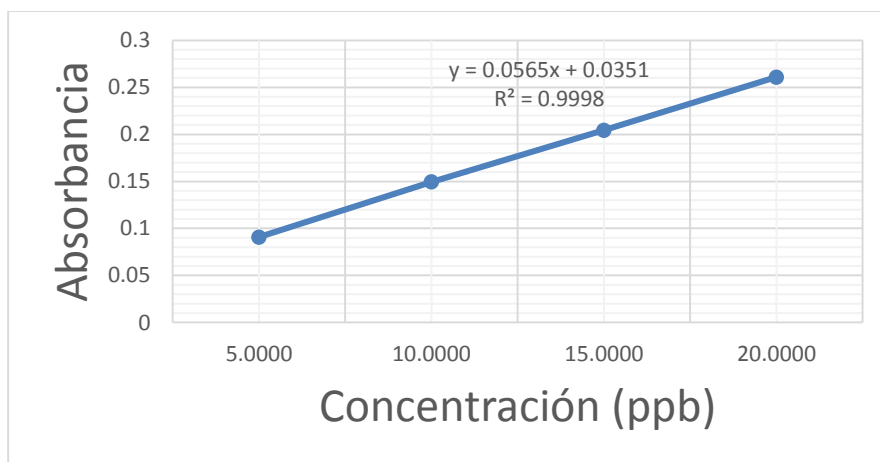
Luego se colocó en el *autosampler*, el estándar de trabajo de 20 µg/L, blanco reactivo y las muestras a los viales previamente identificados y enumerados correspondientemente. Se programó la calibración automática y se chequeó la curva de calibración.

### 2.6.3 Curva de calibración

Se colocó los estándares de calibración en los viales de muestra debidamente identificados y se llevó a cabo el programa para la lectura de la absorbancia descrito anteriormente.

**Cuadro 9. Concentración (ppb) versus Absorbancia**

Concentración (ppb)	Absorbancia
5,0000	0,0908
10,0000	0,1494
15,0000	0,2044
20.,000	0,2608



**Figura 9. Curva de calibración de arsénico**



## **2.7 ANÁLISIS PARA CADMIO**

### **2.7.1 Preparación de estándares:**

Para preparar un estándar patrón de cadmio de 100 mg/L, se midió 10 mL del estándar certificado de 1 000 mg/L y se contuvo en una fiola de 100 mL, luego se enrazó con agua ultrapura. El estándar tiene una duración de 6 meses.

Para el estándar de cadmio de 10 mg/L: se midió 10 mL del estándar de 100 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Este estándar tiene una duración de 3 meses.

Para el estándar de cadmio de 1 mg/L: se midió 10 mL del estándar de 10 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con un diluyente. Tiene una duración de 1 semana.

Para el estándar de cadmio de 20 µg/L: se midió 2 mL del estándar de 1 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Se tiene que preparar diariamente.

Los estándares de calibración obtenidos son de 4 µg/µL, 6 µg/L y 8 µg/L. El equipo prepara automáticamente estos estándares a partir de estándar de 20 µg/L.

Se preparó un blanco de calibración con agua ultrapura, siguiendo el procedimiento anterior.

**Cuadro 10. Programación del horno de grafito para lectura de cadmio**

Programa del horno de grafito para lectura de cadmio				
Paso	Temperatura (°C)	Tiempo Rampa (seg)	Flujo del gas (L/min)	Gas
1	150	20	1,0	Argón
2	250	10	1,0	Argón
3	500	10	1,0	Argón
4	500	3	0	Argón
5	2 200	2	0	Argón

**Cuadro 11. Condiciones del espectrofotómetro para lectura de cadmio**

Condiciones del espectrofotómetro para lectura de cadmio	
Longitud de onda (nm)	288,8 nm
Slit (nm)	1,0 nm
Lámpara	BGC- D2
Corriente de lámpara (mA)	8 mA
Tubo de grafito	Tubo de grafito con plataforma
Tipo de corrección	Corrección de fondo ( <i>Background</i> )
Medida de señal	Area de Pico (A-As)
Volumen de muestra	20 µL

### 2.7.2 Medición:

Se encendió el equipo de absorción atómica *SHIMADZU* AA-6800, así como también el horno de grafito 6FA-EX7 con inyector automático (*autosampler*) y la computadora, se colocó la lámpara de cátodo hueco de cadmio. Siguiendo el procedimiento de operación del horno de grafito GFA-600, se verificó la calibración del instrumento, asegurando el alineamiento del *autosampler* antes de iniciar la corrida analítica. Usando el control manual del brazo muestreador, se hizo balancear el brazo sobre el tubo de grafito, sin tocar el borde del hueco.

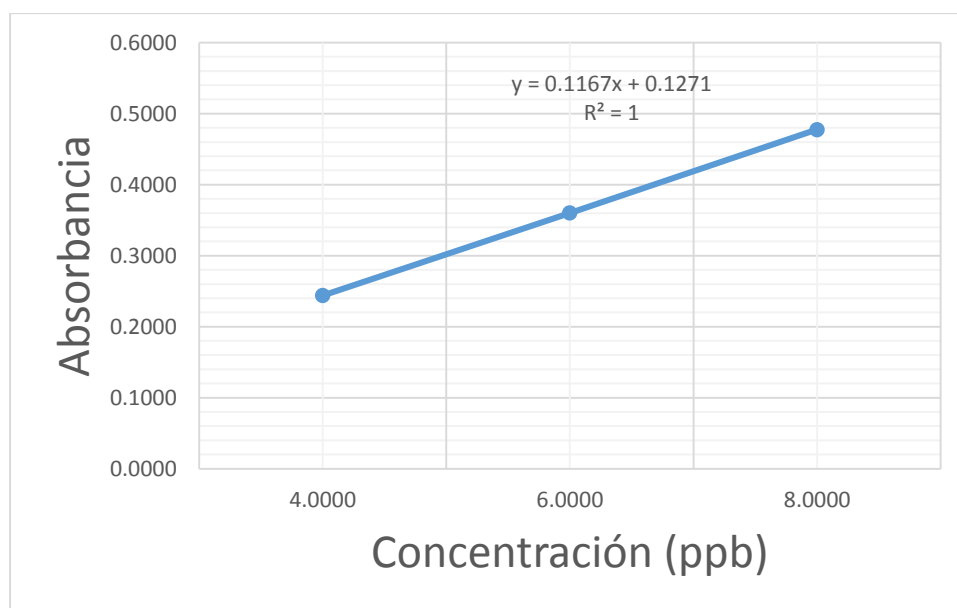
Luego se colocó en el *autosampler*, el estándar de trabajo de 20 µg/L, blanco reactivo y las muestras a los viales previamente identificados y enumerados correspondientemente. Programar la calibración automática y chequear la curva de calibración.

### 2.7.3 Curva de calibración

Se colocó los estándares de calibración en los viales de muestra debidamente identificados y se llevó a cabo el programa para la lectura de la absorbancia descrito anteriormente.

**Cuadro 12. Concentración (ppb) versus Absorbancia**

Concentración (ppb)	Absorbancia
4,0000	0,2440
6,0000	0,3602
8,0000	0,4774

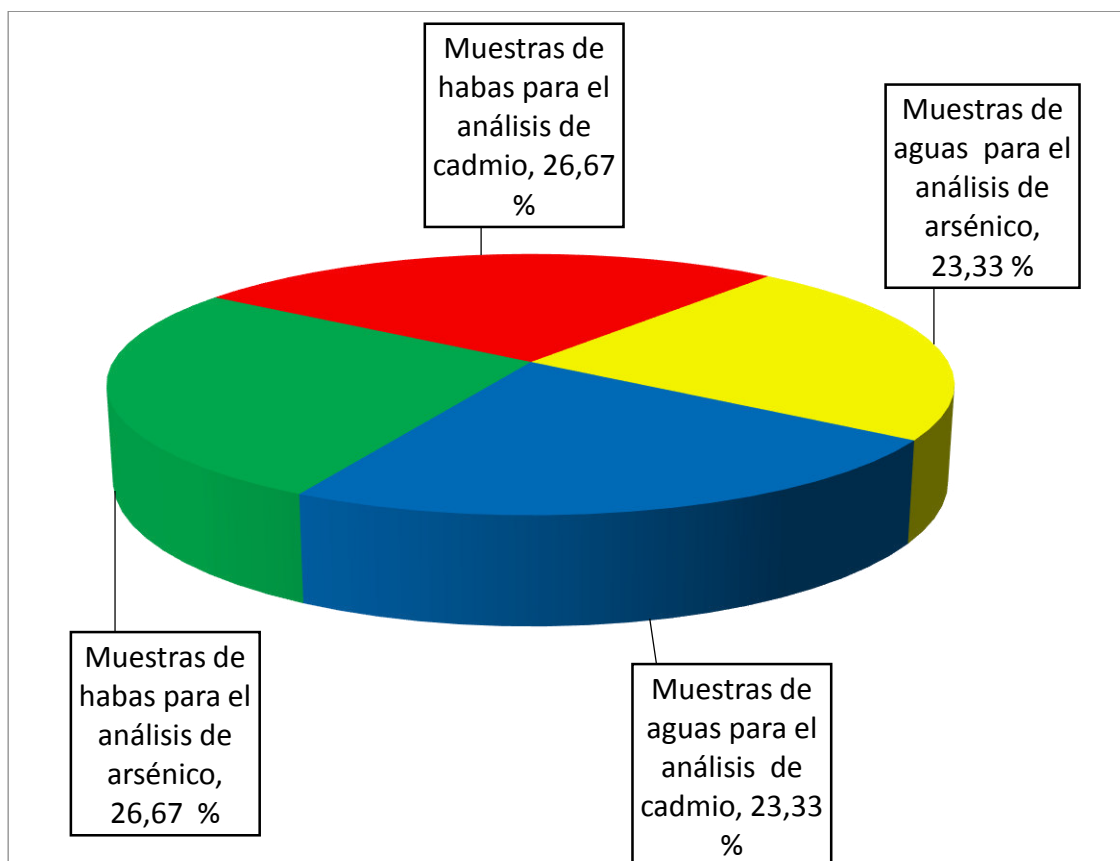


**Figura 10. Curva de calibración de cadmio**

### III. RESULTADOS

**Cuadro 13. Distribución de las muestras de agua y habas según el metal a determinar.**

PROCEDENCIA	n	%
Muestras de aguas para el análisis de arsénico	7	23,33 %
Muestras de aguas para el análisis de cadmio	7	23,33 %
Muestras de habas para el análisis de arsénico	8	26,67 %
Muestras de habas para el análisis de cadmio	8	26,67 %
Total	30	100 %



**Figura 11. Distribución de las muestras de agua y habas según el metal a determinar**

**Cuadro 14. Resultados generales de arsénico y cadmio en aguas del río Rímac y habas regadas por el mismo río.**

Número	Tipo de Muestra	Lugar de muestreo	Código propio	Código USAQ	Concentración de arsénico (ppb)
1	Agua	Parte superior del río	APS1	155-21	18,42 ppb
2	Agua	Parte superior del río	APS2	155-22	18,16 ppb
3	Agua	Parte superior del río	APS3	155-23	19,72 ppb
4	Agua	Parte medio del río	APM 1	155-17	16,73 ppb
5	Agua	Parte medio del río	APM 2	155-18	16,34 ppb
6	Agua	Parte profunda del río	APP 1	155-26	21,34 ppb
7	Agua	Parte profunda del río	APP 2	155-27	17.73 ppb
8	Habas	Cercanas al río	HCR1	155-08	N.D.
9	Habas	Cercanas al río	HCR2	155-07	N.D.
10	Habas	Cercanas al río	HCR3	155-01	N.D.
11	Habas	Medianamente cercanas al río	HMCR1	155-04	N.D.
12	Habas	Medianamente cercanas al río	HMCR2	155-03	N.D.
13	Habas	Medianamente cercanas al río	HMCR3	155-05	N.D.
14	Habas	Lejanas al río	HLR1	155-06	N.D.
15	Habas	Lejanas al río	HLR 2	155-02	N.D.
					<b>Concentración de cadmio (ppb)</b>
16	Agua	Parte superior del río	APS4	155-24	N.D.
17	Agua	Parte superior del río	APS5	155-25	N.D.
18	Agua	Parte medio del río	APM3	155-19	N.D.
19	Agua	Parte medio del río	APM4	155-20	N.D.
20	Agua	Parte profunda del río	APP3	155-28	N.D.
21	Agua	Parte profunda del río	APP4	155-29	N.D.
22	Agua	Parte profunda del río	APP5	155-30	N.D.
23	Habas	Cercanas al río	HCR4	155-10	70,40 ppb
24	Habas	Cercanas al río	HCR5	155-13	61,84 ppb
25	Habas	Medianamente cercanas al río	HMCR 4	155-14	35,50 ppb
26	Habas	Medianamente cercanas al río	HMCR 5	155-15	43,73 ppb
27	Habas	Medianamente cercanas al río	HMCR 6	155-16	97,16 ppb
28	Habas	Lejanas al río	HLR3	155-11	10,40 ppb
29	Habas	Lejanas al río	HLR4	155-12	35,79 ppb
30	Habas	Lejanas al río	HLR5	155-09	40,78 ppb

- N.D.: Valor No Determinado

**Cuadro 15. Concentración promedio de arsénico y cadmio (ppb) en muestras de agua y habas del distrito de San Mateo de Huánchor.**

Toma de muestra	n	$\bar{X}$	S	CV%	Valores Extremos
Arsénico en aguas del río Rímac	7	18,35	1,73	9,43	16,34 - 21,34 ppb
Arsénico en habas regadas con aguas del río Rímac	8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cadmio en agua del río Rímac	7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cadmio en habas regadas con aguas del río Rímac	8	49,45	26,41	53,41	10,4 – 97,16 ppb
Total de Muestras	30				

**LEYENDA:**

n = Número de muestras

$\bar{X}$  = Media

S= Desviación Estándar

CV%= Coeficiente de Variación Porcentual

N.D.= Valor No Determinado

**Cuadro 16. Muestreo de agua proveniente de diferentes puntos y su concentración de arsénico determinada.**

<b>Tipo de Muestra</b>	<b>Lugar de muestreo</b>	<b>Código propio</b>	<b>Concentración de arsénico (ppb)</b>
Agua	Parte superior del río	APS1	18,42
Agua	Parte superior del río	APS2	18,16
Agua	Parte superior del río	APS3	19,72
Agua	Parte medio del río	APM 1	16,73
Agua	Parte medio del río	APM 2	16,34
Agua	Parte profunda del río	APP 1	21,34
Agua	Parte profunda del río	APP 2	17,73
		n= 7	$\bar{X}$ = 18,35

**Cuadro 17. Muestreo de habas provenientes de diferentes puntos y su concentración de cadmio determinada.**

<b>Tipo de Muestra</b>	<b>Lugar de muestreo</b>	<b>Código propio</b>	<b>Concentración de cadmio (ppb)</b>
Habas	Cercanas al río	HCR4	70,4
Habas	Cercanas al río	HCR5	61,84
Habas	Medianamente cercanas al río	HMCR 4	35,5
Habas	Medianamente cercanas al río	HMCR 5	43,73
Habas	Medianamente cercanas al río	HMCR 6	97,16
Habas	Lejanas al río	HLR3	10,4
Habas	Lejanas al río	HLR4	35,79
Habas	Lejanas al río	HLR5	40,78
		n= 8	$\bar{X}$ = 49,45

APS: Agua parte superior del río

APM: Agua parte medio del río

APP: Agua parte profunda del río

HCR: Habas cercanas al río

HMCR: Habas medianamente cercanas al río

HLR: Habas lejanas al río

**Cuadro 18. Cálculo de Medias y Desviación Estándar según el punto de procedencia, para las muestras de agua con arsénico.**

<b>Arsénico (ppb) en Muestras de agua</b>			
<b>Puntos de Procedencia</b>	<b>APS</b>	<b>APM</b>	<b>APP</b>
	18,42	16,73	21,34
	18,16	16,34	17,73
	19,72		
<b>MEDIA ( <math>\bar{X}</math> ) según su procedencia</b>	<b>18,77</b>	<b>16,54</b>	<b>19,54</b>
<b>Desviación Estandar según su procedencia</b>	<b>0,84</b>	<b>0,28</b>	<b>2,55</b>

**Cuadro 19. Cálculo de Medias y Desviación Estándar según el punto de procedencia, para las muestras de habas con cadmio.**

<b>Cadmio (ppb) en Muestras de Habas</b>			
<b>Puntos de Procedencia</b>	<b>HCR</b>	<b>HMCR</b>	<b>HLR</b>
	70,4	35,5	10,40
	61,84	43,73	35,79
		97,16	40,78
<b>MEDIA ( <math>\bar{X}</math> ) según su procedencia</b>	<b>66,12</b>	<b>58,80</b>	<b>28,99</b>
<b>Desviación Estandar según su procedencia</b>	<b>6,05</b>	<b>33,48</b>	<b>25,72</b>

APS: Agua parte superior del río

APM: Agua parte medio del río

APP: Agua parte profunda del río

HCR: Habas cercanas al río

HMCR: Habas medianamente cercanas al río

HLR: Habas lejanas al río



**Cuadro 20. Límites máximos permisibles (LMP) de arsénico y cadmio en aguas de riego, según Norma Técnica Peruana (NTP) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).**

Para muestras de Agua, según:	Límite máximo permisible para arsénico	Límite máximo permisible para cadmio
<b>Norma Técnica Peruana (NTP)</b>	0,05 mg/L	0,005 mg/L
<b>Organización Mundial de Salud (OMS)</b>	0,05 mg/L	0,005 mg/L
	<b>50 ppb</b>	<b>5 ppb</b>

**Cuadro 21. Límites máximos permisibles (LMP) de arsénico y cadmio en habas, según el *Codex Alimentarius*.**

Para muestras de Habas, según:	Límite máximo permisible para arsénico	Límite máximo permisible para cadmio
<b>Norma Técnica del <i>Codex Alimentarius</i></b>	0,1 ppm	0,1 mg/Kg
	<b>100 ppb</b>	<b>100 ppb</b>

**Cuadro 22. Distribución de muestras de aguas con arsénico y cadmio que superan el límite máximo permisible según los valores de la Organización Mundial de la Salud y la Norma Técnica Peruana.**

<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N</b>	<b>Número de muestras que superan el límite permisible Organización Mundial de la Salud</b>	<b>Número de muestras que superan el límite permisible de la Norma Técnica Peruana</b>
Muestra de aguas para el análisis de arsénico	7	0	0
Subtotal	100 %	0 %	0 %
Muestra de aguas para el análisis de cadmio	7	No Detectable	No detectable
Subtotal	100 %	0 %	0 %
<b>Total Muestras</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Total	100 %	0 %	0 %

**Cuadro 23. Distribución de muestras de habas con arsénico y cadmio que superan el límite máximo permisible según los valores del Codex Alimentarius.**

<b>Tipo de Muestra</b>	<b>N</b>	<b>Número de muestras que superan el límite permisible Codex Alimentarius</b>
Muestra de habas para el análisis de arsénico	8	No Detectable
Subtotal	100 %	0 %
Muestra de habas para el análisis de cadmio	8	0
Subtotal	100 %	0 %
<b>Total Muestras</b>	<b>16</b>	<b>0</b>
Total	100 %	0 %

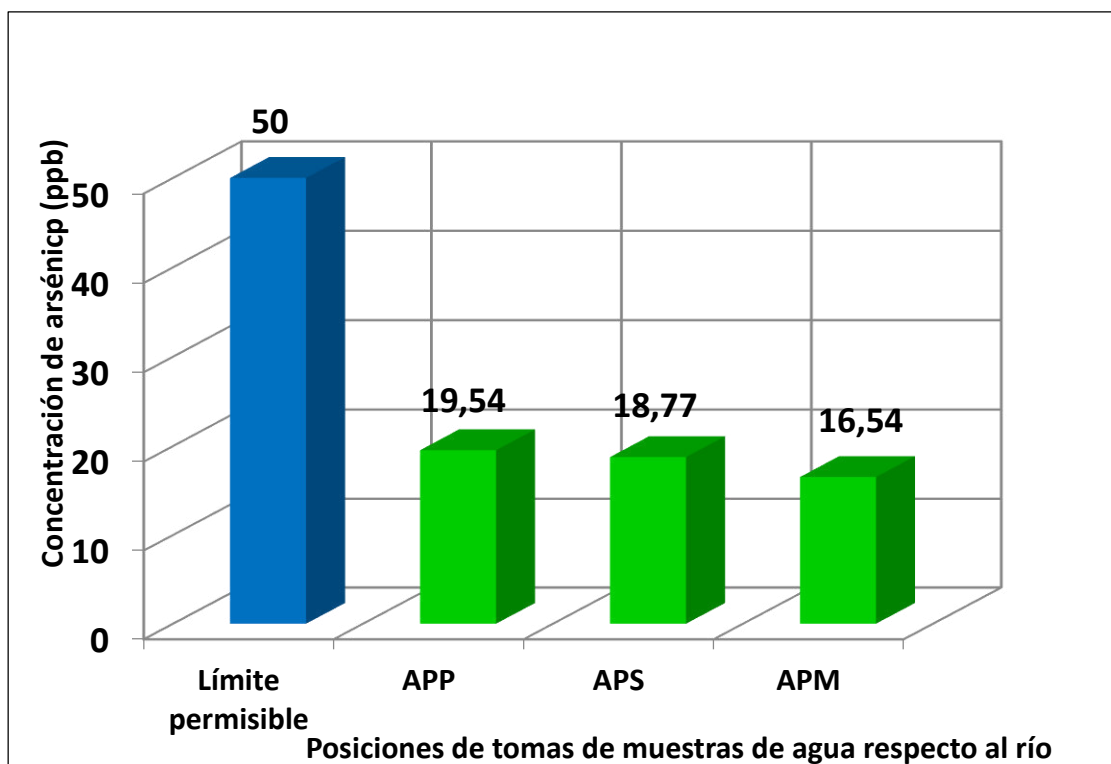


Figura 12. Concentración de arsénico en agua (ppb) según los puntos muestreados en el río.

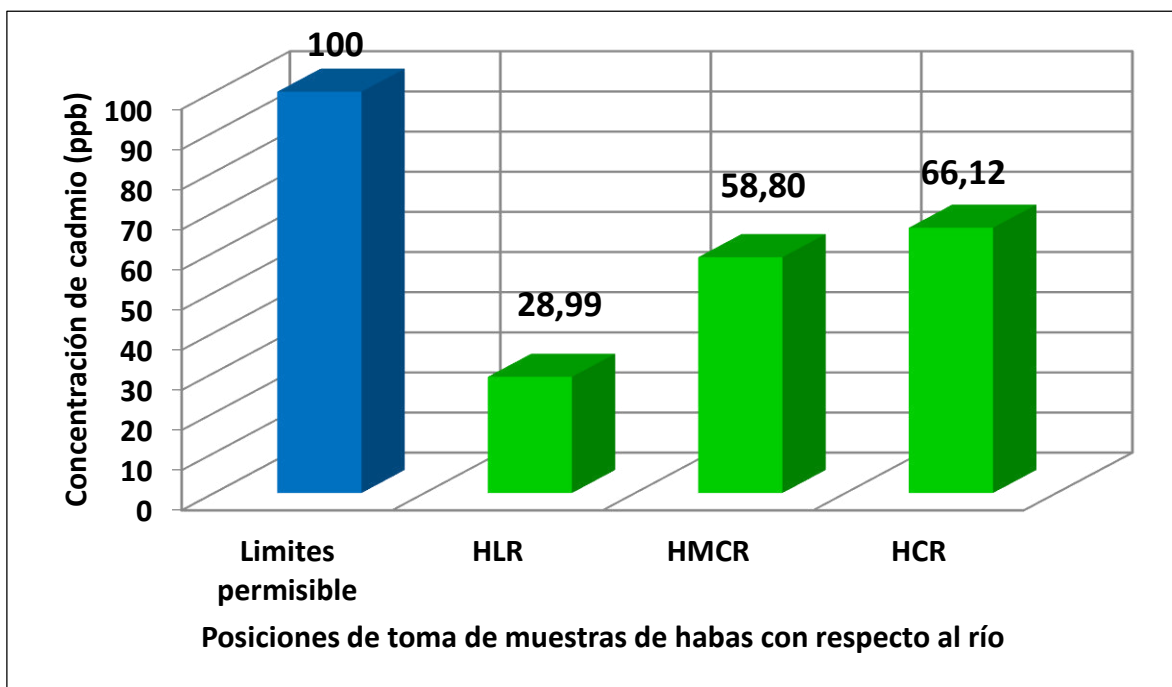


Figura 13. Concentración de cadmio en habas (ppb) según la cercanía al río.

#### IV. DISCUSIÓN

De lo descrito en nuestros resultados de ambos tipos de muestra para la identificación de arsénico y cadmio; se encontró solamente arsénico en aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima; y no cadmio. Para el caso de las muestras de habas regadas con aguas del río Rímac si se encontró cadmio y no arsénico.

De nuestro total de muestras se puede apreciar en el cuadro 13 y en la figura 11 que el 23,33 % (7 muestras) corresponde al análisis de arsénico en aguas, el 23,33 % (7 muestras) corresponde al análisis de cadmio en aguas, el 26,67 % (8 muestras) corresponde al análisis de arsénico en habas y finalmente, el 26,67 % (8 muestras) corresponde al análisis de cadmio en habas para el consumo humano.

El cuadro 16, nos indica que la concentración media de arsénico en aguas del río Rímac es de ( $\bar{X} = 18,35$  ppb) con valores extremos de (16,34 - 21,34 ppb) en el distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima, no superando el límite máximo permisibles establecidos por los Estándares Nacionales de Calidad de Agua y de la Organización Mundial de la Salud (50 ppb); lo cual nos indica que las aguas cercanas a los puntos de muestreo del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima son aptas para el riego de vegetales de la zona. El arsénico en la superficie terrestre no se encuentra en forma pura. Lo podemos encontrar como arsenopirita, trióxido de arsénico, pentóxido de arsénico y sulfuro de arsénico; siendo el trióxido de arsénico y el pentóxido de arsénico los más solubles y más tóxicos para el humano. Por tal motivo estos compuestos posiblemente se encuentren disueltos en las aguas del río de esta zona minera.

La concentración media de cadmio en aguas de río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima no fue detectada, posiblemente por encontrarse en forma de trazas y además la sensibilidad del equipo es de 4 ppb. Además es importante indicar que en dicha zona la explotación es principalmente de plata, cobre y plomo. El cadmio abunda más en la corteza terrestre en forma de sales; y sólo con la explotación minera y la mala regularización y fiscalización de las industrias mineras se contaminaría las aguas de los ríos.<sup>(2,15)</sup>

El equipo de la Dirección General de Salud (DIGESA) realizó un monitoreo de las aguas de éste mismo río obteniendo valores promedios mensuales desde el año 2000 al 2008 siendo todas inferiores al límite máximo permisible (basados para entonces con la siguiente normativa: Ley N° 17752. Ley General de Aguas y el Decreto Supremo 261-69-AP Reglamento de la Ley General de Aguas).<sup>(30)</sup>

La revista del instituto de investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica Minera, Metalúrgica y Geográfica (FIGMMG) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos realizó en el año 2008 durante nueve meses, estudios sobre la calidad del agua de la cuenca del río Rímac en el distrito de San Mateo; dando por resultado que en todos los meses el cadmio supera los límites máximos permisibles; y el arsénico en pocas muestras supera los límites máximo permisibles. En este estudio se tomó de referencia la normativa vigente desde el 2008 (Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. Aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Publicado el 31 de julio de 2008). La explicación de estos resultados se debe a los puntos de muestreos; los cuales fueron las zonas donde se arrojan los efluentes mineros al río Rímac.<sup>(3,4,37)</sup>

El promedio de concentración de arsénico en habas irrigadas con aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima no fue detectada debido a que los valores estarían por debajo de la sensibilidad del equipo la cuál es 5 ppb; lo cual nos indica que posiblemente sólo se encontrarían trazas del metal en las habas. Según la literatura revisada en estudios anteriores, el arsénico se acumula en mayor concentración, en las raíces de las plantas. Por tal motivo la acumulación de éste metal se encontraría en la raíz, tallos y hojas de la planta; de mayor a menor concentración, en ese orden.<sup>(6,31,32,41)</sup>

Según el cuadro 17, la concentración media de cadmio en habas irrigadas con aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima es de  $\bar{X} = 49,45$  ppb y sus valores extremos son de 10,4 - 97,16 ppb no superando el límite máximo permisible establecido por el *Codex Alimentarius* (100 ppb); lo cual nos indica que son aptas para el consumo humano. La presencia de cadmio en muestras de habas no está necesariamente ligado a las aguas de riego sino a la presencia del metal en la corteza terrestre; siendo las raíces, los tallos y las hojas los más contaminados; por lo que la explicación de encontrar cadmio en habas es por arrastre del metal a través de los vientos y también por el uso de fertilizantes fosforados en los sembríos; pues son estos últimos los que tienen en su composición cadmio el cuál en excesivo uso logra bioacumularse y permanecer en los cultivos de este tipo.<sup>(2,15,33,40)</sup>

Según el cuadro 18, tenemos la media de aguas de río según su punto de muestreo. Siendo para las muestras de Aguas Parte Superior (APS) una media de 18,77 ppb, para las muestras de Agua Parte Media (APM) una media de 16,54 ppb y finalmente, para las muestras de Aguas Parte Profunda (APP) una media de

19,54 ppb. También se obtuvieron las desviaciones estándares según el punto de muestreo; siendo la desviación estándar de las muestras de Aguas Parte Superior (APS) 0,84 ppb, para las muestras de Agua Parte Media (APM) resultó una desviación estándar de 0,28 ppb y finalmente para las muestras de Agua Parte Profunda (APP) una desviación estándar de 2,55 ppb.

De acuerdo al cuadro 19, tenemos la media de habas según su punto de muestreo. Siendo para las muestras de Habas Cercanas al Río (HCR) una media de 66,12 ppb, para las muestras de Habas Medianamente Cercanas al Río (HMCR) una media de 58,80 ppb y finalmente, para las muestras de Habas Lejanas al Río (HLR) una media de 28,99 ppb. También se obtuvieron las desviaciones estándares según el punto de muestreo; siendo la desviación estándar de las muestras de Habas Cercanas al Río (HCR) 6,05 ppb, para las muestras de Habas Medianamente Cercanas al Río (HMCR) resultó una desviación estándar de 33,48 ppb y finalmente para las muestras de Habas Lejanas al Río (HLR) una desviación estándar de 25,72 ppb.

A partir de nuestros límites máximos permisibles obtenemos los resultados del cuadro 22; el cual indica que ninguna lectura para la detección de arsénico en muestras de aguas supera el Límite Máximo Permisible según la Organización Mundial de la Salud y la Norma Técnica Peruana, de la misma manera ninguna lectura para la detección de cadmio en muestras de aguas supera el Límite Máximo Permisible según la Organización Mundial de la Salud y la Norma Técnica Peruana puesto que no fueron detectados por el equipo.

A partir de nuestros límites máximos permisibles también obtenemos los resultados del cuadro 23; los cuales indican que ninguna lectura para la detección de arsénico en muestras de habas supera el Límite Máximo Permisible según el *Codex Alimentarius* puesto que no fueron detectados por el equipo, de la misma manera ninguna lectura para la detección de cadmio en muestras de habas supera el Límite Máximo Permisible según el *Codex Alimentarius*.

Acorde con la figura 12, la media de cada punto de muestreo de agua con arsénico no superan los límites permisibles establecidos por la Norma Técnica Peruana y la Organización Mundial de la Salud (50 ppb). Y según la figura 13, la media de cada punto de muestreo de habas con cadmio no superan los límites permisibles establecidos por el *Codex Alimentarius* (100 ppb).



## V. CONCLUSIONES

1. Las muestras de aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima, presentan una concentración promedio de arsénico de 18,35 ppb con cifras extremas de 16,34 ppb – 21,34 ppb.
2. No se hallaron residuos de cadmio en aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima, por lo que no se determinó su concentración promedio.
3. No se hallaron residuos de arsénico en habas irrigadas con aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima, por lo que no se determinó su concentración promedio.
4. Las muestras de habas irrigadas con aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima, presentan una concentración promedio de cadmio de 49,45 ppb con cifras extremas de 10,4 ppb – 97,16 ppb.
5. El promedio de concentración de residuos de arsénico en aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima es 18,35 ppb y no supera los límites máximos permisibles establecidos por el Decreto Supremo N° 002-2008 del Ministerio Nacional de Ambiente y de la Organización Mundial de la Salud (50 ppb en ambos casos).
6. El promedio de concentración de residuos de cadmio en habas irrigadas con aguas del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima es 49,45 ppb y no supera el límite máximo permisible establecido por el *Codex Alimentarius* (100 ppb).

## **VI. RECOMENDACIONES.**

1. Realizar estudios de investigación en distritos cercanos a centros mineros, con la finalidad de comprobar si se obtienen valores similares referidos a la concentración de arsénico y otros metales pesados; y si sobrepasan el límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud (0,05 mgAs/L), para establecer posibles riesgos de morbi-mortalidad por los diferentes tipos de cáncer asociados al arsénico; ello permitirá adoptar criterios normativos ajustados a la realidad local.
2. Se deberían realizar estudios complementarios sobre determinación de arsénico y cadmio en diferentes órganos de las plantas alimenticias cultivadas cercanas a centros mineros para demostrar en dónde se bioacumulan éstos metales.
3. Hacer estudios de fertilizantes fosforados en cultivos de este distrito, para confirmar si la concentración encontrada de cadmio se debe a esta clase de fertilizantes o al cadmio presente en la corteza terrestre que se dispersa por arrastre de vientos.
4. Es necesario informar a la población sobre los peligros de la toxicidad del arsénico y cadmio en aguas de riego y de bebida para humanos y animales, para evitar la bioacumulación y posible toxicidad.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Flores R. y Pérez E. Tesis para optar al título profesional de Químico Farmacéutico: “Determinación de arsénico, por absorción atómica, en agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL, de cisterna y de pozo del distrito de Puente Piedra”. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. 2009.
2. Calla, H. Tesis para optar el grado académico de Magister en ciencias ambientales con mención en desarrollo sostenible en minería y recursos energéticos: Calidad del agua en la cuenca del Río Rímac - Sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras. Año 2010. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Disponible en:  
[http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/797/1/calla\\_lh.pdf](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/797/1/calla_lh.pdf)
3. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA. Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda. Huarochirí. San Mateo. 2007.
4. Calla H. y Cabrera C. Calidad del Agua en la Cuenca del Río Rímac, sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras. Revista del Instituto de Investigaciones. 2010; 13(25):87-94
5. El Cultivo de la Haba [Sede Web]. Disponible en:  
<http://www.infoagro.com/hortalizas/haba.htm>
6. Metales Pesados en los Cultivos. 4: 99-130. Disponible en: [http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio\\_ambiente/criterios\\_calidad\\_suelos\\_aguas\\_agricolas/pdf\\_suelos/6\\_metales\\_pesados\\_cultivos.pdf](http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_suelos/6_metales_pesados_cultivos.pdf)

7. Puga S; Sosa M; Lebgue T; Quintana C; Campos Al. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. SciELO Perú [Revista en internet] 2006 [16 de marzo 2014];5(1-2). Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162006000100020&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162006000100020&script=sci_arttext)
8. Metales pesados y Arsénico. Disponible en: [http://www.osakidetza.euskadi.net/r85-20339/es/contenidos/informacion/sanidad\\_alimentaria/es\\_1247/adjuntos/vigila9508.pdf](http://www.osakidetza.euskadi.net/r85-20339/es/contenidos/informacion/sanidad_alimentaria/es_1247/adjuntos/vigila9508.pdf)
9. Minerales, metales, compuestos químicos, y seres vivos: Una difícil pero inevitable convivencia [Sede Web]. España. Universidad de Castilla- La Mancha. [Acceso 16 de Marzo del 2014].  
Disponible en: <http://www.uclm.es/users/higueras/mam/MAM7.htm>
10. Problemática de los residuos sólidos en el Perú. Disponible en: [http://www.minam.gob.pe/proyecolegios/Ecolegios/contenidos/biblioteca/biblioteca/m1\\_rrss\\_A1L1\\_Problematica\\_rrss\\_Peru.pdf](http://www.minam.gob.pe/proyecolegios/Ecolegios/contenidos/biblioteca/biblioteca/m1_rrss_A1L1_Problematica_rrss_Peru.pdf)
11. Environmental Law Alliance Worldwide. Vista General de la Actividad Minera y sus Impactos. Guía para Evaluar EIAs de Proyectos Mineros; 1:3-20. USA. Disponible en: <http://www.elaw.org/files/mining-eia-guidebook/Capitulo%201.pdf>
12. Chumpitazi J. y Villanueva L. Tesis para optar al título profesional de Químico Farmacéutico: "Determinación de Metales Pesados en Aguas y Frutos en el Río Santa EULALIA". Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. 2001.

13. Bianchini F. Evaluación de la Calidad de los Recursos Hídricos en la Provincia de Pasco y de la Salud en el Centro Poblado de Paragsha. Cerro de Pasco, diciembre del 2009. Disponible en: <http://www.source-international.org/wp-content/uploads/2012/11/Evaluacci%C3%B3n-de-la-calidad-de-los-recursos-h%C3%ADdricos-en-la-provincia-de-Pasco-y-de-la-salud-en-el-centro-poblado-de-Paragsha.pdf>
14. García M. Tesis para optar al grado académico de Doctor en Farmacia y Bioquímica: “Evaluación del riesgo por toxicidad crónica a la exposición de Cadmio en animales de experimentación”. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. 2008.
15. Ramírez A. Anales de la Facultad de Medicina. Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. 2002; 63(1):51-64.
16. Integral Consulting inc. Informe del Estudio de Riesgo para la Salud Humana- Complejo Metalúrgico de la Oroya. [2 de diciembre de 2005]. Lima-Perú. Disponible en:  
[http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/estudios/oroya/2\\_ANEXOS\\_DEL\\_I\\_AL\\_XI/8\\_ANEXO\\_VIII\\_ESTUDIOS\\_ESPECIALIZADOS/B\\_ESTUDIO\\_RIESGO\\_A\\_LA\\_SALUD/ESTUDIO\\_DE\\_RIESGO\\_DIC\\_12\\_05.pdf](http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/estudios/oroya/2_ANEXOS_DEL_I_AL_XI/8_ANEXO_VIII_ESTUDIOS_ESPECIALIZADOS/B_ESTUDIO_RIESGO_A_LA_SALUD/ESTUDIO_DE_RIESGO_DIC_12_05.pdf)
17. Valle P. y Lucas B. Instituto Nacional de Salud Pública Centro Nacional de Salud Ambiental. Toxicología de Alimentos. México, D.F. 2000.
18. Nordberg G. Metales: Propiedades Químicas y Toxicidad. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo (63). Disponible

en:<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf>

19. Nuñez A., Martínez S., Moreno S., “Determinación de metales pesados (aluminio, plomo, cadmio y níquel) en rábano (*Raphanussativus* L.), brócoli (*Brassicaoleracea* L. var. *Itálica*) y calabacín (*Cucurbita pepo* L. var. *Itálica*)”, Laboratorio de Química Analítica, Facultad de Ciencias Biológicas, UNAL, México D.F. 2007.

Disponible en: [file:///C:/Users/Hp/Downloads/A004%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Hp/Downloads/A004%20(1).pdf)

20. Ministerio de Agricultura, Autoridad Nacional del Agua. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos – Ley N° 29338. Lima-Perú. [Enero de 2010].

Disponible en: <http://www.ana.gob.pe/media/533045/reglamento%20lrh%20-%20n%C2%BA%2029338.pdf>

21. Ministerio de Agricultura. Modifica Reglamento de la Ley General de Aguas – Decreto Supremo N° 007-83-SA. Lima-Perú. Disponible en:

[http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/Comisiones/2004/Ambiente\\_2004.nsf/Documentosweb/C280BDBA4083E4A705256F320055046E/\\$FILE/DS007-83-sa.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/Comisiones/2004/Ambiente_2004.nsf/Documentosweb/C280BDBA4083E4A705256F320055046E/$FILE/DS007-83-sa.pdf)

22. Ministerio de Salud, Dirección General de Salud de las Personas. Contaminación con Metales Pesados [Sede Web]. Lima. MINSA; 2005 [Actualizada el 2012; Acceso el 16 de marzo del 2014].

Disponible en:

[http://www.minsa.gob.pe/portalweb/06prevencion/prevencion\\_2.asp?sub5=3](http://www.minsa.gob.pe/portalweb/06prevencion/prevencion_2.asp?sub5=3)

23. Ministerio de Energía y Minas. [Sede Web]. Lima. “Ley General de Aguas”. Decreto Ley N°17752. Disponible en:

<http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/publicaciones/compendio99/117752.pdf>

24. MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2008). Estándares nacionales de Calidad Ambiental para Agua. D.S Nº 002-2008-MINAM. Norma Legal. Lima.
25. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) [Sede Web]. Lima. Año 2000 [Acceso 16 de Marzo 2014]. Parámetros de Calidad y Límites Máximo Permisibles [01 página]. Disponible en:  
[http://www.sunass.gob.pe/doc/normas%20legales/legisla%20web\(cambio\)/normas/calidad%20de%20agua/Oficio%20677.pdf](http://www.sunass.gob.pe/doc/normas%20legales/legisla%20web(cambio)/normas/calidad%20de%20agua/Oficio%20677.pdf)
26. Metales pesados [Sede web]. Madrid. Secretaria de Estado de Turismo y Comercio. Marzo 2014. Disponible en:  
<http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf>
27. Castillero D. “Actualización en las técnicas de muestreo de aguas y sedimentos”. [Sede web]. AquatecLaboratories. 2012. [Acceso 12 de abril del 2014]. Disponible en:  
<http://www.itsconsultores.com/site/files/4congreso2012/1.pdf>
28. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Guía para la Evaluación de Impactos en la Calidad de las Aguas Superficiales por Actividades Minero Metalúrgicas. Primera Edición. Vol. 22. Lima. 153 págs. 2007.
29. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Inventario de Pasivos Ambientales Mineros. Lima. 41 págs. 2006.
30. DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL. Informes Anuales de Monitoreo de Aguas de la Cuenca del Río Rímac de los años 2000 al 2008. Lima.


31. Calderon L., Concha R., "Evaluación de las concentraciones de metales pesados para determinar la calidad de frutas de consumo masivo en la ciudad de Piura", [revista en internet], Departamento Académico de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Piura, Perú. Disponible en: <http://www.unp.edu.pe/institutos/iipd/trabajosinvestigacion/facultadminasquimica-esthercalderon.pdf>
32. Prieto F.; Callejas J.; Román A.; Prieto J.; Gordillo A.; Méndez M. Acumulación de Arsénico en el Cultivo en Habas (Vicia faba). Agronomía Costarricense. 2007; 31(2):101-109.
33. Bonomelli, C.; Bonilla, C.; Valenzuela, A. "Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile". Pesquisa Agropecuaria Brasileira, Brasilia, Vol. 38, N. 10, págs. 1179 – 1186, 2003.
34. Ministerio de Salud.[Sede Web]. Lima. MINSA; 06-03-2014 [Acceso 16 de Marzo del 2014]. Intoxicación por Metales Pesados Enero- Diciembre 2013 [1 página]. Disponible en: [http://www.app.minsa.gob.pe/bsc/detalle\\_indbsc.asp?lcind=67&lcobj=3&lcp=1&lcfreg=6/3/2014](http://www.app.minsa.gob.pe/bsc/detalle_indbsc.asp?lcind=67&lcobj=3&lcp=1&lcfreg=6/3/2014)
35. Contreras B., Mendoza C., Gómez A., "Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del rio Haina". Santo Domingo. Ciencia y Sociedad, 2004; 29:38-71.
36. Chui B., Miramira T., Olivera L., Jacay H., "Determinación de metales pesados en sedimentos del Rio Chillón mediante la técnica de Fluorescencia de rayos X", Rev. Perú Química. Ingeniería Química, 2009; 12(2):9-14.



37. Ministerio de Salud, Dirección General de Salud Ambiental. Estándares de Calidad Ambiental del Agua [Sede Web] Lima- Perú. Disponible en: [http://www.digesa.sld.pe/DEPA/informes\\_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%204.pdf](http://www.digesa.sld.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%204.pdf)
38. Valdivia M. Intoxicación por plomo. Rev. Soc. Per. Med. Inter. 2005; 18(1): 22-27.
39. Téllez J. y Marlen F. Exposición ocupacional a plomo: aspectos toxicológicos. Avances en Enfermería. Vol. XXIII N° 1 Enero-Junio 2005. Disponible en: [http://www.enfermeria.unal.edu.co/revista/articulos/xxiii1\\_3.pdf](http://www.enfermeria.unal.edu.co/revista/articulos/xxiii1_3.pdf)
40. Milla O. y Palomino W. Tesis para optar al título profesional de Químico Farmacéutico: “Niveles de Colinesterasa Sérica en Agricultores de la Localidad de Carapongo (Perú) y Determinación de Residuos de Plaguicidas Inhibidores de la Acetilcolinesterasa en Frutas y Hortalizas Cultivadas”. 2002. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima.
41. García E.; Juárez L.; Montiel J.; Gómez M. La Respuesta de Haba (Vicia faba, L.) Contaminado con Diferentes Concentraciones de Cadmio. SciELO Perú [Revista en internet], 2012; 28 (2):119-126.
42. Ministerio de Sanidad y Consumo, Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. Informe Resumen de Datos de Cadmio 2000-2007. España. 2008. Disponible en: [http://aesan.msssi.gob.es/AESAN/docs/docs/cadena\\_alimentaria/gestion\\_de\\_riesgos\\_quimicos/cadmio.pdf](http://aesan.msssi.gob.es/AESAN/docs/docs/cadena_alimentaria/gestion_de_riesgos_quimicos/cadmio.pdf)

## VIII. ANEXOS

### Anexo N° 1:

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS</b> FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA  UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS	
---	---	---

**SUPLEMENTO DE INFORME DE ENSAYO**  
**N° 209-2014**

**Cliente :** UNMSM-Facultad de Farmacia y Bioquímica  
**Dirección :** Jr. Puno 1002 – Jardín Botánico - Lima  
**Atención :** Q.F. Tox. Jesús Lizano /Alumno: Juan Daniel Yacila  
**Referencia USAQ :** 155-01/16  
**Muestra :** HABAS  
**Cotización :** 177-2014/USAQ  
**Fecha de Recepción :** 21/07/2014  
**Fecha de Emisión :** 06/08/2014  
**Fecha de Suplemento :** 02/09/2014

**RESULTADO DE ANÁLISIS: DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO Y CADMIO**

Código de Muestra USAQ	Código Cliente	Determinación	Resultados
155-01	HCR 3	ARSÉNICO	N.D.
155-02	HLR 2	ARSÉNICO	N.D.
155-03	HMCR 2	ARSÉNICO	N.D.
155-04	HMCR 1	ARSÉNICO	N.D.
155-05	HMCR 3	ARSÉNICO	N.D.

Muestra Proporcionada por el Cliente

SUPLEMENTO IE-209-2014 UNMSM-FFB (HABAS)(Página 1 de 3)

**RESULTADO DE ANÁLISIS: DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO Y CADMIO**

Código de Muestra USAQ	Código Cliente	Determinación	Resultados
155-06	HLR 1	ARSÉNICO	N.D.
155-07	HCR 2	ARSÉNICO	N.D.
155-08	HCR 1	ARSÉNICO	N.D.
155-09	HLR 5	CADMIO	40.78 ppb
155-10	HCR 4	CADMIO	70.40 ppb
155-11	HLR 3	CADMIO	10.40 ppb
155-12	HLR 4	CADMIO	35.79 ppb
155-13	HCR 5	CADMIO	61.84 ppb

SUPLEMENTO IE-209-2014 UNMSM-FFB (HABAS) (Página 2 de 3)

**RESULTADO DE ANÁLISIS: DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO Y CADMIO**

Código de Muestra USAQ	Código Cliente	Determinación	Resultados
155-14	HMCR 4	CADMIO	35.50 ppb
155-15	HMCR 5	CADMIO	43.73 ppb
155-16	HMCR 6	CADMIO	97.16 ppb

Muestra Proporcionada por el Cliente.

**N.D. = NO DETECTABLE**

**Límite de Detección = Arsénico 5 ppb**

  
**Quím. María Angélica Rodríguez Best**  
 Directora de la USAQ  
 CQP: 597

Nota: El presente informe sólo es válido en su estado original y se refiere únicamente a la muestra analizada, cualquier corrección o enmienda en el contenido del presente informe lo anula automáticamente.

Observ.: La muestra podrá ser devuelta después del plazo de 15 días calendarios de entregado el Informe de Ensayo, pasado el tiempo indicado no se aceptarán reclamos ni devoluciones.

SUPLEMENTO IE-209-2014 UNMSM-FFB (HABAS)(Página 3 de 3)

## Anexo N° 2:

	<p align="center">UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS</p>	
---	--	---

### INFORME DE ENSAYO N° 210-2014

Cliente : UNMSM-Facultad de Farmacia y Bioquímica  
 Dirección : Jr. Puno 1002 – Jardín Botánico - Lima  
 Atención : Q.F. Tox. Jesús Lizano /Alumno: Juan Daniel Yacila  
 Referencia USAQ : 155-17/30  
 Muestra : AGUAS  
 Cotización : 177-2014/USAQ  
 Fecha de Recepción : 04/08/2014  
 Fecha de Emisión : 12/08/2014

#### RESULTADO DE ANÁLISIS: DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO Y CADMIO

Código de Muestra USAQ	Código Cliente	Determinación	Resultados
155-17	APM 1	ARSÉNICO	16.73 ppb
155-18	APM 2	ARSÉNICO	16.34 ppb
155-19	APM 3	CADMIO	N.D.
155-20	APM 4	CADMIO	N.D.
155-21	APS 1	ARSÉNICO	18.42 ppb

Muestra Proporcionada por el Cliente

  
 IE-210-2014 UNMSM-FFB (AGUA)(Página 1 de 3)

**RESULTADO DE ANÁLISIS: DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO Y CADMIO**

Código de Muestra USAQ	Código Cliente	Determinación	Resultados
155-22	APS 2	ARSÉNICO	18.16 ppb
155-23	APS 3	ARSÉNICO	19.72 ppb
155-24	APS 4	CADMIO	N.D.
155-25	APS 5	CADMIO	N.D.
155-26	APP 1	ARSÉNICO	21.34 ppb
155-27	APP 2	ARSÉNICO	17.73 ppb
155-28	APP 3	CADMIO	N.D.
155-29	APP 4	CADMIO	N.D.

Muestra Proporcionada por el Cliente

IE-210-2014 UNMSM-FFB (AGUA)(Página 2 de 3)

**RESULTADO DE ANÁLISIS: DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO Y CADMIO**

Código de Muestra USAQ	Código Cliente	Determinación	Resultados
155-30	APP 5	CADMIO	N.D.

Muestra Proporcionada por el Cliente.

**N.D. = NO DETECTABLE**

Límite de Detección = **Cadmio : 4 ppb**

**Método:** Metales GFAAS USAQ-ME-15

  
**Quim. Maria Angélica Rodríguez Best**  
 Directora de la USAQ  
 COP: 597

Nota: El presente informe sólo es válido en su estado original y se refiere únicamente a la muestra analizada, cualquier corrección o enmienda en el contenido del presente informe lo anula automáticamente.

Observ.: La muestra podrá ser devuelta después del plazo de 15 días calendarios de entregado el Informe de Ensayo, pasado el tiempo indicado no se aceptarán reclamos ni devoluciones.

IE-210-2014 UNMSM-FFB (AGUA)(Página 3 de 3)



### Anexo N° 3:



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA  
**MUSEO DE HISTORIA NATURAL**



"Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación"

#### CONSTANCIA N° 04-USM-2015

LA JEFA(E) DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal recibida de los alumnos **Juan Daniel YACILA FRIAS** y **Goannie Justo BASUALDO LARRAZABAL**, ha sido estudiada y clasificada como: ***Vicia Faba L.*** y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación de Cronquist (1988).

**DIVISION: MAGNOLIOPHYTA**

**CLASE: MAGNOLIOPSIDA**

**SUBCLASE: ROSIDAE**

**ORDEN: FABALES**

**FAMILIA: FABACEAE**

**GENERO: *Vicia***

**ESPECIE: *Vicia faba L.***

Nombre vulgar: "haba"  
Determinado por Blgo. Severo Baldeon Malpartida.

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para fines de estudios.

Fecha, 16 de enero de 2015



**Dra. BETTY MILLAN SALAZAR**  
JEFA (E) DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

Av. Arenales 1256, Jesús María  
Apdo. 14-0434, Lima 14, Perú

Téls. (511) 471-0117, 470-4471,  
470-7918, 619-7000 anexo 5703

e-mail: museohn@unmsm.edu.pe  
<http://museohn.unmsm.edu.pe>



## Alarm Status

Low ☒ Fail  
High ☒ Fail

## Recorder Info

Serial #: 1000271736 Model: TRIX-8 Battery: Ok Trip #: 7  
ID Usuario: CAJA 01

## Recorder Configuration

Start type: Fecha/Hora de Inicio  
Start delay: Ninguna  
Interval: 30 Minutos  
Alert indicator: Enabled lower & upper  
OK indicator: Enabled  
Temperature alarms  
Lower: 2.0 °C after 2 Consecutive  
Upper: 8.0 °C after 2 Consecutive

## Recorded Data

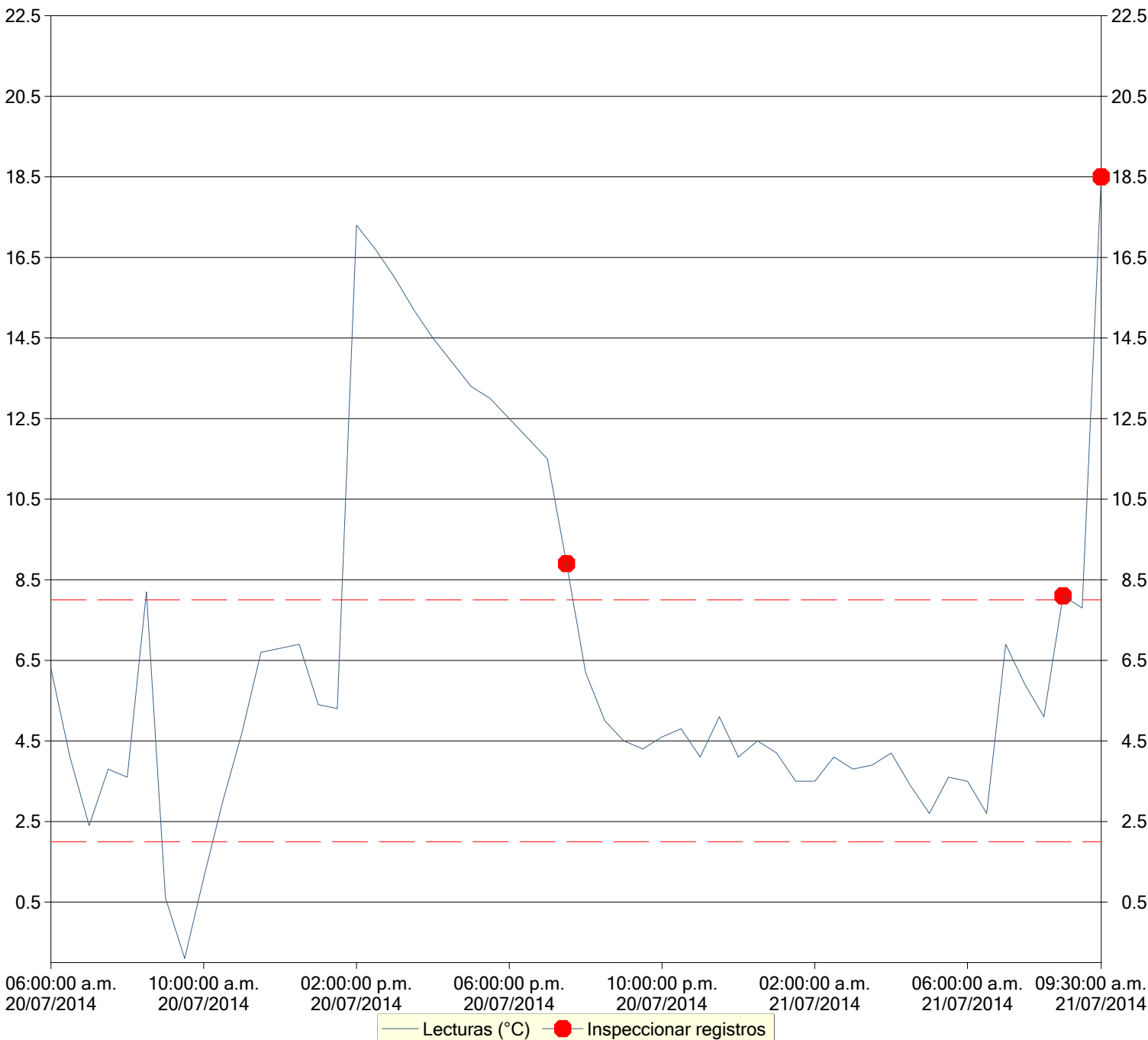
First reading: 20/07/2014 06:00:00 a.m.  
Last reading: 21/07/2014 06:30:00 p.m.  
Intervalo: 1 Día, 12 Horas, 30 Minutos  
Total readings: 74  
First evaluated: 20/07/2014 06:00:00 a.m.  
Last evaluated: 21/07/2014 09:30:00 a.m.  
Temperature statistics  
Lowest: -0.9 °C  
@ 20/07/2014 09:30:00 a.m.  
Highest: 18.5 °C  
@ 21/07/2014 09:30:00 a.m.  
MKT(ΔH: 83.144): 8.14 °C

## Low Alarm

Triggered: @ 20/07/2014 09:30:00 a.m.  
Time below: 1 Hora, 30 Minutos  
Occurrences: 1  
°C - Minutes below: 102.00

## High Alarm

Triggered: @ 20/07/2014 02:30:00 p.m.  
Time above: 7 Horas, 30 Minutos  
Occurrences: 1  
°C - Minutes above: 2388.00

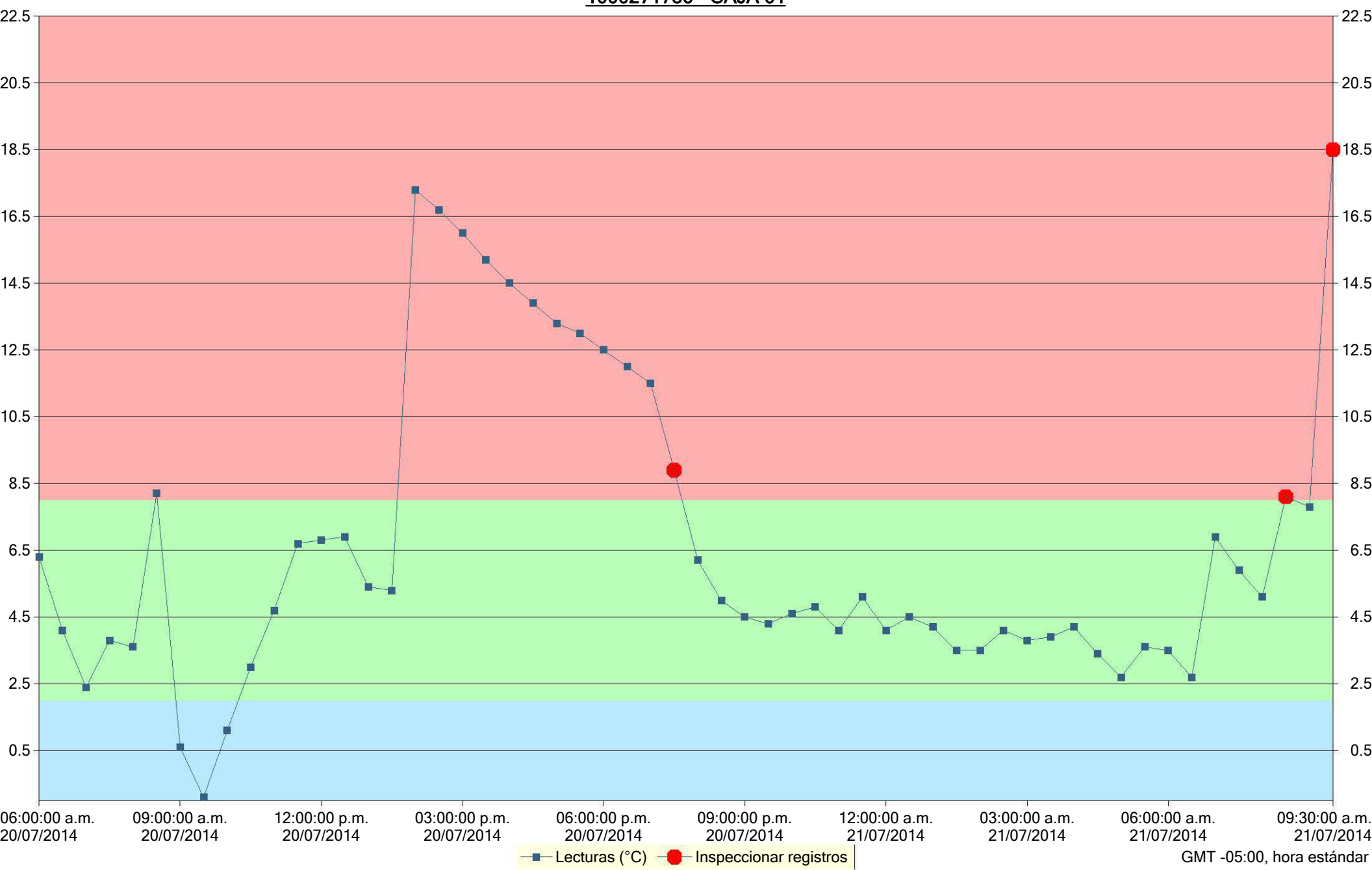


## Events Info

20/07/2014 07:30:00 Inspection  
21/07/2014 08:30:00 Inspection  
21/07/2014 09:30:00 Inspection

ID LogTag 1000271736  
ID Usuario CAJA 01  
Primera lectura 20/07/2014 06:00:00 a.m.  
Última lectura 21/07/2014 06:30:00 p.m.  
Nombre del archivo recolección de muestra tesis cooler.ltd  
Localización del archivo C:\Users\basuago1\Desktop\Johan doc\

1000271736 - CAJA 01



ID LogTag	1000271736
ID Usuario	CAJA 01
Primera lectura	20/07/2014 06:00:00 a.m.
Última lectura	21/07/2014 06:30:00 p.m.
Nombre del archivo	recolección de muestra tesis cooler.ltd
Localización del archivo	C:\Users\basuago1\Desktop\Johan doc\

ID LogTag	1000271736
ID Usuario	CAJA 01
Batería de LogTag	Ok
Ningún rango de alerta	2.0 a 8.0 °C
Zona horaria	GMT -05:00, hora estándar
Número de lecturas	74
Intervalo de lecturas	30 Minutos
Número de comienzos	7
Primera lectura	20/07/2014 06:00:00 a.m.
Última lectura	21/07/2014 06:30:00 p.m.
Intervalo	1 Día, 12 Horas, 30 Minutos
Rango de lectura	-0.9 a 21.9 °C
Lectura media	10.3 °C
Desviación estándar	7.52 °C
Grados por minuto bajo el umbral inferior	102.00 °C-Minutos
Grados por minuto sobre el umbral superior	9,663.00 °C-Minutos
Temperatura cinética	13.62 °C
Tiempo sobre el umbral inferior	1 Hora, 30 Minutos
Tiempo bajo el umbral superior	16 Horas, 15 Minutos
Tiempo no en alerta	18 Horas, 30 Minutos
Estadísticas del rango de lecturas seleccionado	
Primera lectura	20/07/2014 06:00:00 a.m.
Última lectura	21/07/2014 09:30:00 a.m.
Intervalo	1 Día, 3 Horas, 30 Minutos
Rango de lectura	-0.9 a 18.5 °C
Lectura media	6.7 °C
Desviación estándar	4.59 °C
Grados por minuto bajo el umbral inferior	102.00 °C-Minutos
Grados por minuto sobre el umbral superior	2,388.00 °C-Minutos
Temperatura cinética	8.14 °C
Tiempo sobre el umbral inferior	1 Hora, 30 Minutos
Tiempo bajo el umbral superior	7 Horas, 15 Minutos
Tiempo no en alerta	18 Horas, 30 Minutos

ID LogTag 1000271736  
ID Usuario CAJA 01  
Primera lectura 20/07/2014 06:00:00 a.m.  
Última lectura 21/07/2014 06:30:00 p.m.  
Nombre del archivo recolección de muestra tesis cooler.ltd  
Localización del archivo C:\Users\basuago1\Desktop\Johan doc\

Medida	Fecha	Hora	Intervalo	Lecturas (°C)
1	20/07/2014	06:00:00 a.m.	00:00:00	6.3
2	20/07/2014	06:30:00 a.m.	00:30:00	4.1
3	20/07/2014	07:00:00 a.m.	01:00:00	2.4
4	20/07/2014	07:30:00 a.m.	01:30:00	3.8
5	20/07/2014	08:00:00 a.m.	02:00:00	3.6
6	20/07/2014	08:30:00 a.m.	02:30:00	8.2
7	20/07/2014	09:00:00 a.m.	03:00:00	0.6
8	20/07/2014	09:30:00 a.m.	03:30:00	-0.9
9	20/07/2014	10:00:00 a.m.	04:00:00	1.1
10	20/07/2014	10:30:00 a.m.	04:30:00	3.0
11	20/07/2014	11:00:00 a.m.	05:00:00	4.7
12	20/07/2014	11:30:00 a.m.	05:30:00	6.7
13	20/07/2014	12:00:00 p.m.	06:00:00	6.8
14	20/07/2014	12:30:00 p.m.	06:30:00	6.9
15	20/07/2014	01:00:00 p.m.	07:00:00	5.4
16	20/07/2014	01:30:00 p.m.	07:30:00	5.3
17	20/07/2014	02:00:00 p.m.	08:00:00	17.3
18	20/07/2014	02:30:00 p.m.	08:30:00	16.7
19	20/07/2014	03:00:00 p.m.	09:00:00	16.0
20	20/07/2014	03:30:00 p.m.	09:30:00	15.2
21	20/07/2014	04:00:00 p.m.	10:00:00	14.5
22	20/07/2014	04:30:00 p.m.	10:30:00	13.9
23	20/07/2014	05:00:00 p.m.	11:00:00	13.3
24	20/07/2014	05:30:00 p.m.	11:30:00	13.0
25	20/07/2014	06:00:00 p.m.	12:00:00	12.5
26	20/07/2014	06:30:00 p.m.	12:30:00	12.0
27	20/07/2014	07:00:00 p.m.	13:00:00	11.5
28	20/07/2014	07:30:00 p.m.	13:30:00	8.9
29	20/07/2014	08:00:00 p.m.	14:00:00	6.2
30	20/07/2014	08:30:00 p.m.	14:30:00	5.0
31	20/07/2014	09:00:00 p.m.	15:00:00	4.5
32	20/07/2014	09:30:00 p.m.	15:30:00	4.3
33	20/07/2014	10:00:00 p.m.	16:00:00	4.6
34	20/07/2014	10:30:00 p.m.	16:30:00	4.8
35	20/07/2014	11:00:00 p.m.	17:00:00	4.1
36	20/07/2014	11:30:00 p.m.	17:30:00	5.1
37	21/07/2014	12:00:00 a.m.	18:00:00	4.1
38	21/07/2014	12:30:00 a.m.	18:30:00	4.5
39	21/07/2014	01:00:00 a.m.	19:00:00	4.2
40	21/07/2014	01:30:00 a.m.	19:30:00	3.5
41	21/07/2014	02:00:00 a.m.	20:00:00	3.5

ID LogTag 1000271736  
ID Usuario CAJA 01  
Primera lectura 20/07/2014 06:00:00 a.m.  
Última lectura 21/07/2014 06:30:00 p.m.  
Nombre del archivo recolección de muestra tesis cooler.ltd  
Localización del archivo C:\Users\basuago1\Desktop\Johan doc\

Medida	Fecha	Hora	Intervalo	Lecturas (°C)
42	21/07/2014	02:30:00 a.m.	20:30:00	4.1
43	21/07/2014	03:00:00 a.m.	21:00:00	3.8
44	21/07/2014	03:30:00 a.m.	21:30:00	3.9
45	21/07/2014	04:00:00 a.m.	22:00:00	4.2
46	21/07/2014	04:30:00 a.m.	22:30:00	3.4
47	21/07/2014	05:00:00 a.m.	23:00:00	2.7
48	21/07/2014	05:30:00 a.m.	23:30:00	3.6
49	21/07/2014	06:00:00 a.m.	1 Día 00:00:00	3.5
50	21/07/2014	06:30:00 a.m.	1 Día 00:30:00	2.7
51	21/07/2014	07:00:00 a.m.	1 Día 01:00:00	6.9
52	21/07/2014	07:30:00 a.m.	1 Día 01:30:00	5.9
53	21/07/2014	08:00:00 a.m.	1 Día 02:00:00	5.1
54	21/07/2014	08:30:00 a.m.	1 Día 02:30:00	8.1
55	21/07/2014	09:00:00 a.m.	1 Día 03:00:00	7.8
56	21/07/2014	09:30:00 a.m.	1 Día 03:30:00	18.5

## Alarm Status

Low ☒ OK  
High ☒ Fail

## Recorder Info

Serial #: 1000271737 Model: TRIX-8 Battery: Ok Trip #: 7  
ID Usuario: CAJA 02

## Recorder Configuration

Start type: Fecha/Hora de Inicio  
Start delay: Ninguna  
Interval: 30 Minutos  
Alert indicator: Enabled lower & upper  
OK indicator: Enabled  
Temperature alarms  
Lower: 2.0 °C after 2 Consecutive  
Upper: 8.0 °C after 2 Consecutive

## Recorded Data

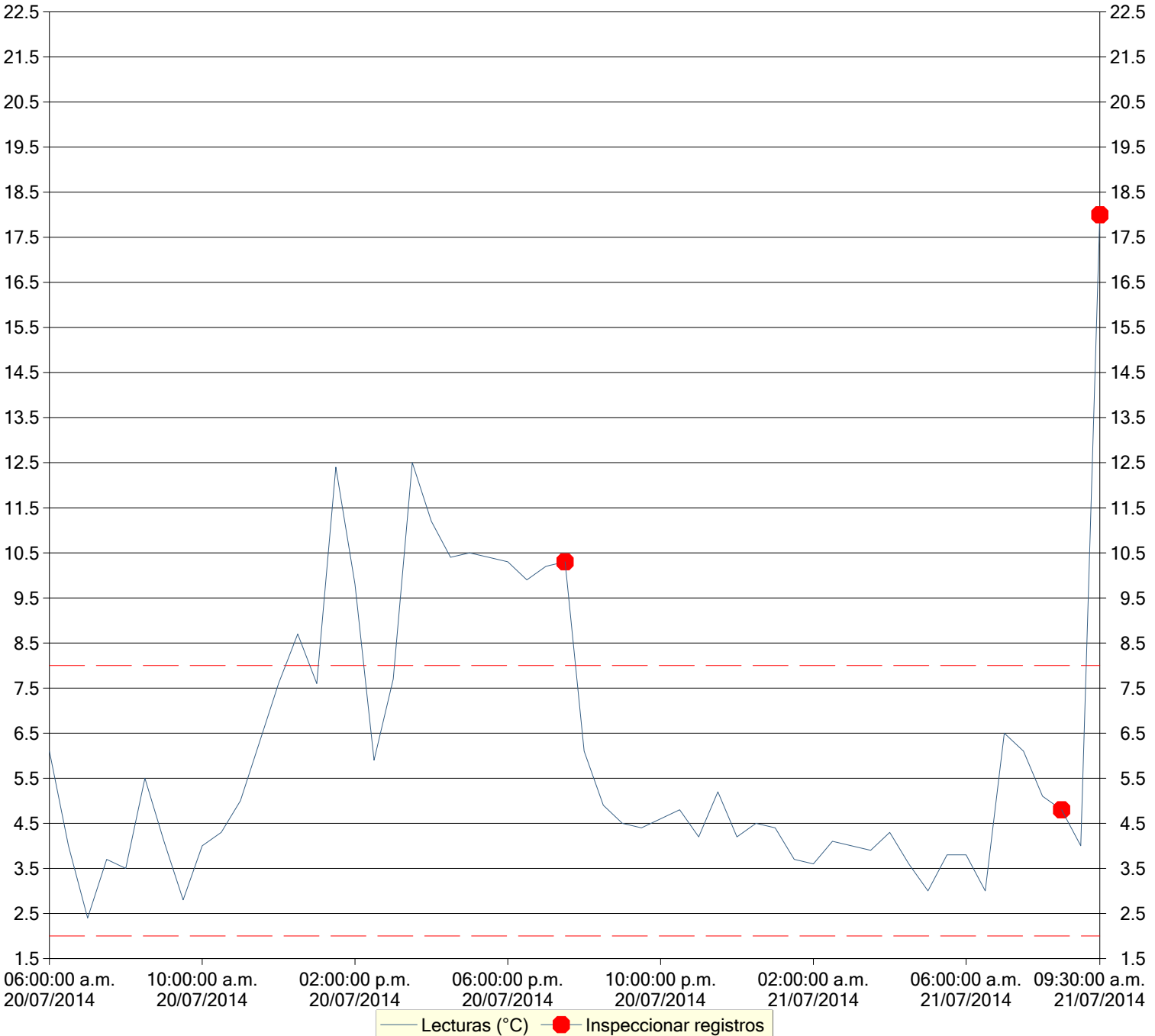
First reading: 20/07/2014 06:00:00 a.m.  
Last reading: 21/07/2014 06:30:00 p.m.  
Intervalo: 1 Día, 12 Horas, 30 Minutos  
Total readings: 74  
First evaluated: 20/07/2014 06:00:00 a.m.  
Last evaluated: 21/07/2014 09:30:00 a.m.  
Temperature statistics  
Lowest: 2.4 °C  
@ 20/07/2014 07:00:00 a.m.  
Highest: 18.0 °C  
@ 21/07/2014 09:30:00 a.m.  
MKT(ΔH: 83.144): 6.85 °C

## Low Alarm

Triggered: (none)  
Time below: (none)  
Occurrences: 0  
°C - Minutes below: 0.00

## High Alarm

Triggered: @ 20/07/2014 02:00:00 p.m.  
Time above: 6 Horas, 30 Minutos  
Occurrences: 2  
°C - Minutes above: 1218.00

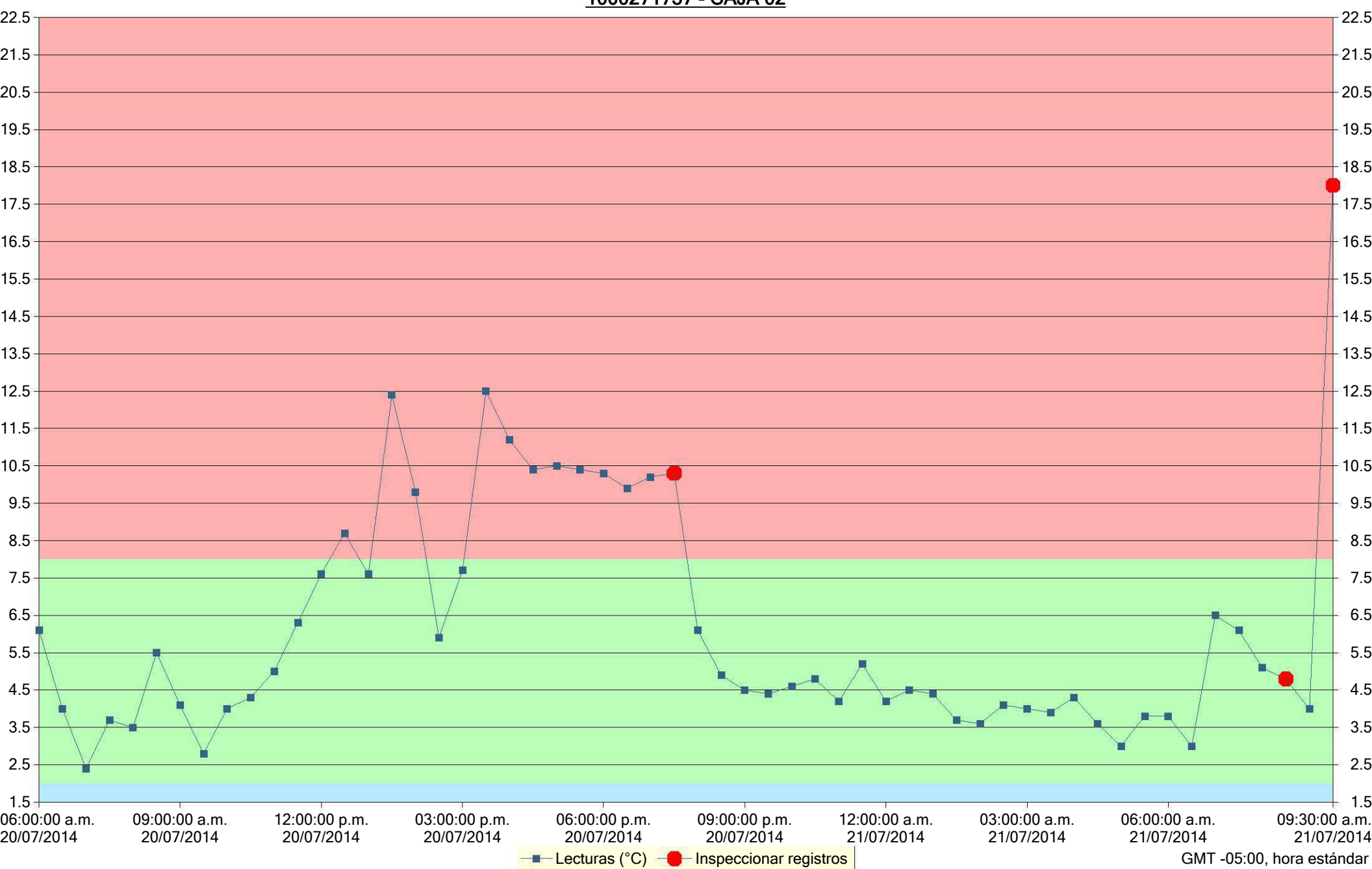


## Events Info

20/07/2014 07:30:00 Inspection  
21/07/2014 08:30:00 Inspection  
21/07/2014 09:30:00 Inspection

ID LogTag	1000271737
ID Usuario	CAJA 02
Primera lectura	20/07/2014 06:00:00 a.m.
Última lectura	21/07/2014 06:30:00 p.m.
Nombre del archivo	recoleccion de muestra tesis cooler pequeño.ltd
Localización del archivo	C:\Users\basuago1\Desktop\Johan doc\

**1000271737 - CAJA 02**



ID LogTag	1000271737
ID Usuario	CAJA 02
Primera lectura	20/07/2014 06:00:00 a.m.
Última lectura	21/07/2014 06:30:00 p.m.
Nombre del archivo	recoleccion de muestra tesis cooler pequeño.ltd
Localización del archivo	C:\Users\basuago1\Desktop\Johan doc\

ID LogTag	1000271737
ID Usuario	CAJA 02
Batería de LogTag	Ok
Ningún rango de alerta	2.0 a 8.0 °C
Zona horaria	GMT -05:00, hora estándar
Número de lecturas	74
Intervalo de lecturas	30 Minutos
Número de comienzos	7
Primera lectura	20/07/2014 06:00:00 a.m.
Última lectura	21/07/2014 06:30:00 p.m.
Intervalo	1 Día, 12 Horas, 30 Minutos
Rango de lectura	2.4 a 22.1 °C
Lectura media	9.9 °C
Desviación estándar	7.22 °C
Grados por minuto bajo el umbral inferior	0.00 °C-Minutos
Grados por minuto sobre el umbral superior	8,565.00 °C-Minutos
Temperatura cinética	13.22 °C
Tiempo sobre el umbral inferior	Ninguna
Tiempo bajo el umbral superior	15 Horas, 15 Minutos
Tiempo no en alerta	21 Horas
Estadísticas del rango de lecturas seleccionado	
Primera lectura	20/07/2014 06:00:00 a.m.
Última lectura	21/07/2014 09:30:00 a.m.
Intervalo	1 Día, 3 Horas, 30 Minutos
Rango de lectura	2.4 a 18.0 °C
Lectura media	6.1 °C
Desviación estándar	3.16 °C
Grados por minuto bajo el umbral inferior	0.00 °C-Minutos
Grados por minuto sobre el umbral superior	1,218.00 °C-Minutos
Temperatura cinética	6.85 °C
Tiempo sobre el umbral inferior	Ninguna
Tiempo bajo el umbral superior	6 Horas, 15 Minutos
Tiempo no en alerta	21 Horas



ID LogTag 1000271737  
ID Usuario CAJA 02  
Primera lectura 20/07/2014 06:00:00 a.m.  
Última lectura 21/07/2014 06:30:00 p.m.  
Nombre del archivo recoleccion de muestra tesis cooler pequeño.ltd  
Localización del archivo C:\Users\basuago1\Desktop\Johan doc\

Medida	Fecha	Hora	Intervalo	Lecturas (°C)
1	20/07/2014	06:00:00 a.m.	00:00:00	6.1
2	20/07/2014	06:30:00 a.m.	00:30:00	4.0
3	20/07/2014	07:00:00 a.m.	01:00:00	2.4
4	20/07/2014	07:30:00 a.m.	01:30:00	3.7
5	20/07/2014	08:00:00 a.m.	02:00:00	3.5
6	20/07/2014	08:30:00 a.m.	02:30:00	5.5
7	20/07/2014	09:00:00 a.m.	03:00:00	4.1
8	20/07/2014	09:30:00 a.m.	03:30:00	2.8
9	20/07/2014	10:00:00 a.m.	04:00:00	4.0
10	20/07/2014	10:30:00 a.m.	04:30:00	4.3
11	20/07/2014	11:00:00 a.m.	05:00:00	5.0
12	20/07/2014	11:30:00 a.m.	05:30:00	6.3
13	20/07/2014	12:00:00 p.m.	06:00:00	7.6
14	20/07/2014	12:30:00 p.m.	06:30:00	8.7
15	20/07/2014	01:00:00 p.m.	07:00:00	7.6
16	20/07/2014	01:30:00 p.m.	07:30:00	12.4
17	20/07/2014	02:00:00 p.m.	08:00:00	9.8
18	20/07/2014	02:30:00 p.m.	08:30:00	5.9
19	20/07/2014	03:00:00 p.m.	09:00:00	7.7
20	20/07/2014	03:30:00 p.m.	09:30:00	12.5
21	20/07/2014	04:00:00 p.m.	10:00:00	11.2
22	20/07/2014	04:30:00 p.m.	10:30:00	10.4
23	20/07/2014	05:00:00 p.m.	11:00:00	10.5
24	20/07/2014	05:30:00 p.m.	11:30:00	10.4
25	20/07/2014	06:00:00 p.m.	12:00:00	10.3
26	20/07/2014	06:30:00 p.m.	12:30:00	9.9
27	20/07/2014	07:00:00 p.m.	13:00:00	10.2
28	20/07/2014	07:30:00 p.m.	13:30:00	10.3
29	20/07/2014	08:00:00 p.m.	14:00:00	6.1
30	20/07/2014	08:30:00 p.m.	14:30:00	4.9
31	20/07/2014	09:00:00 p.m.	15:00:00	4.5
32	20/07/2014	09:30:00 p.m.	15:30:00	4.4
33	20/07/2014	10:00:00 p.m.	16:00:00	4.6
34	20/07/2014	10:30:00 p.m.	16:30:00	4.8
35	20/07/2014	11:00:00 p.m.	17:00:00	4.2
36	20/07/2014	11:30:00 p.m.	17:30:00	5.2
37	21/07/2014	12:00:00 a.m.	18:00:00	4.2
38	21/07/2014	12:30:00 a.m.	18:30:00	4.5
39	21/07/2014	01:00:00 a.m.	19:00:00	4.4
40	21/07/2014	01:30:00 a.m.	19:30:00	3.7
41	21/07/2014	02:00:00 a.m.	20:00:00	3.6

ID LogTag 1000271737  
ID Usuario CAJA 02  
Primera lectura 20/07/2014 06:00:00 a.m.  
Última lectura 21/07/2014 06:30:00 p.m.  
Nombre del archivo recoleccion de muestra tesis cooler pequeño.ltd  
Localización del archivo C:\Users\basuago1\Desktop\Johan doc\

Medida	Fecha	Hora	Intervalo	Lecturas (°C)
42	21/07/2014	02:30:00 a.m.	20:30:00	4.1
43	21/07/2014	03:00:00 a.m.	21:00:00	4.0
44	21/07/2014	03:30:00 a.m.	21:30:00	3.9
45	21/07/2014	04:00:00 a.m.	22:00:00	4.3
46	21/07/2014	04:30:00 a.m.	22:30:00	3.6
47	21/07/2014	05:00:00 a.m.	23:00:00	3.0
48	21/07/2014	05:30:00 a.m.	23:30:00	3.8
49	21/07/2014	06:00:00 a.m.	1 Día 00:00:00	3.8
50	21/07/2014	06:30:00 a.m.	1 Día 00:30:00	3.0
51	21/07/2014	07:00:00 a.m.	1 Día 01:00:00	6.5
52	21/07/2014	07:30:00 a.m.	1 Día 01:30:00	6.1
53	21/07/2014	08:00:00 a.m.	1 Día 02:00:00	5.1
54	21/07/2014	08:30:00 a.m.	1 Día 02:30:00	4.8
55	21/07/2014	09:00:00 a.m.	1 Día 03:00:00	4.0
56	21/07/2014	09:30:00 a.m.	1 Día 03:30:00	18.0